



TUGAS AKHIR – TL141584

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TUANG DAN
TEMPERATUR *PRE-HEAT* CETAKAN PADA PROSES
PERMANENT MOLD CASTING TERHADAP NILAI
KEKERASAN DAN PERSENTASE CACAT VOLUME
CORAN PISTON BERBASIS Al-Si**

Faizal Nugraha Ramadhan
NRP 2713 100 149

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T

Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL141584

***THE EFFECT OF POURING TEMPERATURE AND
MOULD PRE-HEAT TEMPERATURE ON PERMANENT
MOULD CASTING PROCESS TO HARDNESS VALUE AND
PERCENTAGE OF VOLUME DEFECT ON PISTON Al-Si
BASE***

Faizal Nugraha Ramadhan
NRP 2713 100 149

Advisors

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T

Departement of Materials Engineering
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TUANG DAN
TEMPERATUR *PRE-HEAT* CETAKAN PADA PROSES
PERMANENT MOLD CASTING TERHADAP NILAI
KEKERASAN DAN PERSENTASE CACAT VOLUME
CORAN PISTON BERBASIS Al-Si**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FAIZAL NUGRAHA RAMADHAN
NRP 2713100149

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.....(Pembimbing 1)

2. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.....(Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TUANG DAN TEMPERATUR *PRE-HEAT* CETAKAN PADA PROSES *PERMANENT MOLD CASTING* TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN PERSENTASE CACAT VOLUME CORAN PISTON BERBASIS Al-Si

Nama : Faizal Nugraha Ramadhan
NRP : 2713100149
Departemen : Teknik Material
Pembimbing : Dr.Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Abstrak

Pengecoran adalah salah satu proses yang sederhana dan proses langsung untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. Pada proses pengecoran ini digunakan metode *permanent mold casting*. Tujuan dari pengecoran ini adalah menganalisis pengaruh temperatur tuang dan perlakuan *pre-heat* pada cetakan terhadap nilai kekerasan dan volume benda cor. Pada penelitian ini dilakukan variasi temperatur tuang yaitu 700 °C, 800 °C, 900 °C, dan 1000 °C, serta perlakuan *pre-heat* pada cetakan dengan temperatur 450 °C, dan pengaruhnya kepada nilai kekerasan dan volume benda cor yang telah didesain. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah, uji kekerasan, perhitungan volume benda cor, *uji struktur mikro*, observasi visual, uji komposisi, dan uji XRD. Dari hasil penelitian didapat hasil bahwa semakin tinggi temperatur tuang volume benda cor meningkat, selain itu perlakuan *pre-heat* pada cetakan juga berdampak signifikan dengan naiknya volume benda cor. Hasil volume dengan selisih terkecil dengan desain pada piston PT900PHM dan PT1000PHM dengan nilai cacat

sebesar 6.162%. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai rerata *hardness* terbesar ada pada pisto PT700 sebesar 115 .1 HB .

Kata kunci : pengecoran, Kekerasan, Aluminium ,permanent mold casting ,piston head

THE EFFECT OF POURING TEMPERATURE AND TEMPERATURE MOULD PRE-HEAT ON PERMANENT MOULD CASTING PROCESS TO HARDNESS VALUE AND CASTING PERCENTAGE DEFECT OF VOLUME ON PISTON Al-Si BASE

Name : Faizal Nugraha Ramadhan
NRP : 2713100149
Departement : Material Engineering
Advisors : Dr.Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Abstract

Casting is one of the simplest processes and the direct process to get the desired shape. In this casting process used permanent mold casting method. The purpose of this casting is to analyze the influence of casting temperature and pre-heat treatment on the mold against the hardness and the volume of casting. In this research, the variation of pouring temperature is 700 °C, 800 °C, 900 °C, and 1000 °C, and pre-heat treatment on mold with temperature of 450 °C, and its effect to hardness value and the volume of cast object that has been designed. The tests carried out in this study are, hardness test, calculation of cast object volume, microstructure test, visual observation, composition test, and XRD test. From the result of the research, it can be concluded that the higher casting temperature of cast material is increased, besides the pre-heat treatment in the mold also has a significant impact with the increase of cast material volume. The result of volume with the smallest difference with design on piston PT900PHM and PT1000PHM with defect value of 6,162%. The result of hardness test shows that the highest hardness average value is on PT700 pisto as big as 115.1 HB.

Key word : casting, Hardness, Aluminum ,permanent mold casting ,piston head

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, anugerah dan petunjuk-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Proposal Tugas Akhir yang berjudul :

“Analisis Pengaruh Temperatur Tuang dan Perlakuan Pre-heat Cetakan pada Proses Permanent Mold Casting Terhadap Nilai Kekerasan dan Volume Coran Piston Al-Si Base”

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang kepada :

1. Allah SWT, yang senantiasa menjadi tempat mencurahkan keluh kesah serta senantiasa menjadi penulis
2. Kedua orang tua penulis atas segala doa, dukungan moril dan materi, pengertian dan semangat yang telah diberikan selama ini
3. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc. dan Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis
4. Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dan Budi Agung Kurniawan, S.T, M.Sc selaku dosen wali yang selalu memberi bimbingan dan menjadi orang tua kedua selama di perkuliahan
5. Dosen Tim Penguji seminar dan sidang, serta seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
6. Sahabat-sahabat penulis “Para Monster” yang selalu menemani dalam suka maupun duka
7. Teman-teman MT15 yang selalumemberi semangat selama kuliah dan mengerjakan Tugas Akhir.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini mampu memberikan informasi mengenai proses pengecoran. Penulis menyadari bahwa

penyusunan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I
LEMBAR PENGESAHAN.....	V
ABSTRAK	VII
KATA PENGANTAR	XI
DAFTAR ISI.....	XIII
DAFTAR GAMBAR	XVII
DAFTAR TABEL.....	XXI
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengecoran	3
2.2 <i>Pattern</i>	4
2.3 <i>Permanent Mould Casting</i>	5
2.4 Toleransi Penyusutan	7
2.5 Pemeriksaan Coran.....	10
2.6 <i>Gating system</i>	11
2.6.1. Perhitungan Saluran Masuk	14
2.6.2. <i>Riser</i>	15

2.6.3. <i>Riser Calculation</i>	16
2.6.4. <i>Riser Feeding Distance</i>	17
2.6.5. <i>Exothermic Sleeves and Topping Riser</i>	21
2.7 Piston.....	22
2.7.1 Dimensi Piston.....	24
2.7.2 Sifat Mekanik	24
2.7.3 Aluminum.....	26
2.8 <i>Cacat Coran</i>	28
2.9 <i>Ellingham Diagram</i>	32
2.10 Penelitian Sebelumnya	33

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	39
3.2 Alat.....	40
3.3 Bahan	42
3.4 Prosedur Percobaan	43
3.5 Pengujian.....	45
3.5.1 Pengujian Kekerasan	45
3.5.2 Perhitungan Volume Piston	45
3.5.3 Observasi Visual.....	45
3.5.4 Pengujian Komposisi Kimia	46
3.5.5 Pengujian Struktur Mikro	46
3.5.6 Pengujian Fasa	48

3.6 Rancangan Penelitian	49
3.7 Desain Benda Cor.....	50
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Pengecoran Piston Al-Si	51
4.2 Hasil pengujian Komposisi Kimia.....	58
4.3 Hasil Pengamatan Hasil <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	59
4.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro	62
4.4 Hasil Pengujian Kekerasan	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	XXIII
LAMPIRAN.....	XXV

(Halaman sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis-jenis cetakan (a)Split pattern,(b) Follow-Board,(c) Match plate, (d)Loose-piece, (e) Sweep,(f) Skeleton pattern	5
Gambar 2.2 Bagian-bagian cetakan permanen.....	6
Gambar 2.3 Skema struktur pada cetakan pasir	12
Gambar 2.4 <i>Riser</i> pada benda <i>casting</i>	16
Gambar 2.5 Macam dari jenis <i>feed riser</i>	18
Gambar 2.6 Ilustrasi konsep dari <i>feeding distance</i>	19
Gambar 2.7 Sistem dengan dua <i>riser</i>	19
Gambar 2.8 Ilustrasi dari EZL(end zone length).....	20
Gambar 2.9 <i>Feeding distance</i> pada jenis benda coran bertingkat tiga	20
Gambar 2.10 <i>Feeding distance</i> pada jenis benda coran bertingkat dua	21
Gambar 2.11 Penggunaan dari <i>exothermic sleeve</i> dan <i>riser topping</i>	22
Gambar 2.12 Gaya dan arah pada sistem kerja piston	23
Gambar 2.13 Gambaran umum piston.....	24
Gambar 2.14 Struktur kristal FCC.....	26
Gambar 2.15 Cacat lubang jarum	30
Gambar 2.16 Cacat inklusi terak	31
Gambar 2.17 Diagram Ellingham.....	32
Gambar 2.18 Adanya lubang pada hasil pengecoran	34
Gambar 2.19 Modifikasi saluran masuk	35

Gambar 2.20 modifikasi sprue	36
Gambar 2.21 Cacat yang terjadi dibawah cover piston yang kondisinya dipengaruhi oleh temperatur pemanasan cetakan	37
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	39
Gambar 3.2 <i>Crucible</i>	40
Gambar 3.3 Gergaji	40
Gambar 3.4 Timbangan digital	41
Gambar 3.5 Cetakan permanen piston	42
Gambar 3.6 Material balance proses pengecoran piston	43
Gambar 3.7 Skema peleburan dengan <i>crucible furnace</i>	44
Gambar 3.8 Pengujian kekerasan Brinell.....	45
Gambar 3.9 Prinsip pengujian OES	46
Gambar 3.10 Alur sinar pada pengamatan.....	47
Gambar 3.11 Prinsip kerja XRD.....	48
Gambar 3.12 Desain piston	50
Gambar 3.13 Desain 3D Benda Cor	50
Gambar 4.1 foto makro piston hasil coran (a) piston PT700 (b) piston PT800 (c) piston PT900 (d) piston PT1000..	52
Gambar 4.2 foto makro piston hasil coran (a) piston PT700 PHM (b) piston PT800PHM (c) piston PT900PHM (d) piston PT1000PHM.....	54
Gambar 4.3 Pengaruh temperatur <i>pre-heat</i> pada <i>mold</i> dan temperatur tuang logam cair terhadap persentase cacat	57
Gambar 4.4 Pola XRD dari piston hasil cor tanpa <i>pre-heat</i>	60

Gambar 4.5. Pola XRD dari piston hasil cor dengan <i>pre-heat</i>	60
Gambar 4.6. Posisi Pengambilan Gambar Struktur Mikro.....	63
Gambar 4.7 Gambar struktur mikro sepanjang penampang (a) 0 mm (b) 7 mm (c) 14 mm (d) 21 mm (e) 28 mm pada perbesaran 200 kali	64
Gambar 4.8 Jumlah grain pada setiap titik pengujian	65
Gambar 4.9 Nilai kekerasan sepanjang penampang dari setiap piston	67
Gambar 4.10 Grafik rerata nilai kekerasan piston hasil cor	68

(Halaman sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penyusutan <i>Shrinkage</i> Beberapa Jenis Logam.....	8
Tabel 2.2 <i>Draft Angle</i> Beberapa Material <i>Pattern</i>	9
Tabel 2.3 Penyusutan <i>Machining</i> Beberapa Material untuk Proses Pengecoran	9
Tabel 2.4 Data hasil sifat mekanik piston dari dua jenis piston ..	24
Tabel 2.5 Ukuran umum dimensi piston.....	25
Tabel 2.6 Beberapa jenis piston berdasarkan komposisinya	25
Tabel 2.7 Koefisien pemuaian termal aluminum	27
Tabel 2.8 Sifat mekanik aluminum.....	27
Tabel 3.1 Tabel rancangan percobaan	49
Tabel 4.1 Kode Penamaan Piston	56
Tabel 4.2 Hasil Pengecoran Piston	56
Tabel 4.3 Perbandingan Komposisi Kimia Antara Piston M124 dan Piston Hasil Coran	58
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Jumlah Grain pada piston PT700PHM.....	65
Tabel 4.5 Nilai Kekerasan Berdasarkan Jarak dari Pusat Penampang pada setiap piston	66

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Di dalam silinder sebuah mesin, energi yang terikat pada bahan bakar dengan cepat diubah menjadi panas dan tekanan selama siklus pembakaran. Nilai panas dan tekanan meningkat sangat dalam waktu yang sangat singkat. Piston, sebagai bagian bergerak dari ruang bakar, memiliki tugas untuk mengubah energi yang dilepaskan ini menjadi energi mekanis (Heinz.2012).

Aluminum, unsur terbanyak kedua yang ada di bumi. sifat aluminum yang ringan hampir sepertiga baja membuatnya menjadi pilihan yang diperhitungkan dalam berbagai industri, salah satunya adalah industri otomotif. Dalam industri otomotif aluminum dibentuk menjadi komponen yang membutuhkan efisiensi tinggi seperti piston (ASM handbook vol 2.1990).

Metal casting adalah proses yang unik jika dibandingkan dengan *metal forming* untuk beberapa alasan. Alasan yang paling penting adalah pada proses *casting*, benda yang dibentuk dapat berupa benda yang memiliki kerumitan yang tinggi. Selain itu untuk benda yang cenderung rumit proses *metal casting* cenderung lebih ekonomis jika dibandingkan dengan *metal forming* (ASM handbook vol 15.1988).

Cetakan permanen dalam penggunaannya mendahului jenis cetakan yang lain seperti cetakan pasir. Jenis cetakan permanen secara bertahap muncul, tapi selama bertahun-tahun terbatas dalam aplikasi oleh logam cair yang tersedia. Cetakan permanen dapat didefinisikan hanya sebagai penuangan logam cair ke cetakan logam yang telah dipanaskan sebelumnya. Ada beberapa jenis cetakan permanen yaitu *die casting*, *gravity permanent casting*, *sentrifugal casting*, dan *squeeze casting* (ASM handbook vol 15.1988).

Dengan melihat temperatur menjadi salah satu faktor penting pada proses *casting* dalam mempengaruhi hasil benda



cor, maka diperlukan riset lebih mendalam tentang pengaruh temperatur pada pengecoran *permanent gravity casting*. Dengan memberikan variasi temperatur tuang dan perlakuan *pre-heat* pada cetakan yang terbuat dari bahan toolsteel SKD 11, maka dapat dilihat hal-hal yang dipengaruhi oleh temperatur tuang dan perlakuan *pre-heat* terutama pada sifat kekerasan dan volume benda yang terbentuk.

1.2 Rumusan masalah

1. Bagaimana pengaruh temperatur tuang paduan aluminum terhadap volume dan kekerasan coran piston aluminum menggunakan *gravity permanent mould casting*?
2. Bagaimana pengaruh perlakuan *pre-heat permanent mould* terhadap volume dan kekerasan coran piston aluminum?

1.3 Batasan masalah

1. Selama proses pengecoran dianggap tidak ada pengotor yang masuk.

1.4 Tujuan penelitian

1. Menganalisis pengaruh temperatur tuang paduan aluminum terhadap volume dan kekerasan coran piston aluminum menggunakan *gravity permanent mould casting*
2. Menganalisis pengaruh perlakuan *pre-heat permanent mould* terhadap volume dan kekerasan coran piston aluminum

1.5 Manfaat penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk menganalisis pengaruh temperatur tuang dan *pre-heat* cetakan terhadap kekerasan dan volume coran piston sehingga dapat digunakan dalam pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengecoran

Proses pengecoran adalah salah satu proses yang sederhana dan proses langsung untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. Pada proses ini dibutuhkan cetakan yang diinginkan sesuai bentuk dan logam cair. Pengecoran sudah dari lama digunakan oleh manusia. Pengecoran yang biasa dilakukan adalah penuangan logam cair ke cetakan pasir. Tujuan dari proses pengecoran ini adalah memproduksi produk yang digunakan manusia. Pada zaman modern ini pengecoran sudah banyak digunakan untuk memproduksi bagian-bagian dari mesin.

Coran dapat didefinisikan sebagai sebuah “objek logam yang didapatkan dari solidifikasi logam cair didalam cetakan”, bentuk dari objek ditentukan oleh bentuk dari rongga cetakan. *Founding* atau Pengecoran adalah proses pembentukan objek logam dengan melelehkan logam dan menuangkannya kedalam cetakan. *Foundry* adalah istilah resmi untuk *founding*, atau proses produksi pengecoran. Coran terbentuk saat logam cair mengalami solidifikasi di bentuk yang diinginkan (Heine, 2001).

Dalam berbagai hal benda-benda kerja yang dibentuk melalui proses pengecoran memiliki keunggulan baik sifat maupun efisiensi pembentukannya, bahkan tidak dimiliki oleh bahan yang dibentuk dengan cara lain, misalnya pada besi atau baja tempa, dimana benda-benda tuangan (hasil pengecoran) sifat-sifatnya dapat ditentukan oleh formulasi campuran dan dapat diperbaiki menurut kebutuhan kita, bentuk dan dimensinya dapat dibentuk melalui pengecoran ini, misalnya rongga rongga, saluran-saluran dan lain-lain yang mungkin tidak dapat dilakukan dengan cara lain, dengan demikian benda tuangan berkembang sejalan dengan modernisasi teknologi itu sendiri hal ini dikarenakan benda tuangan memiliki keunggulan dan dapat diterima diberbagai jenis produk, seperti permesinan, automotif, listrik dan elektronik, konstruksi/ bangunan gedung, assesoris dan



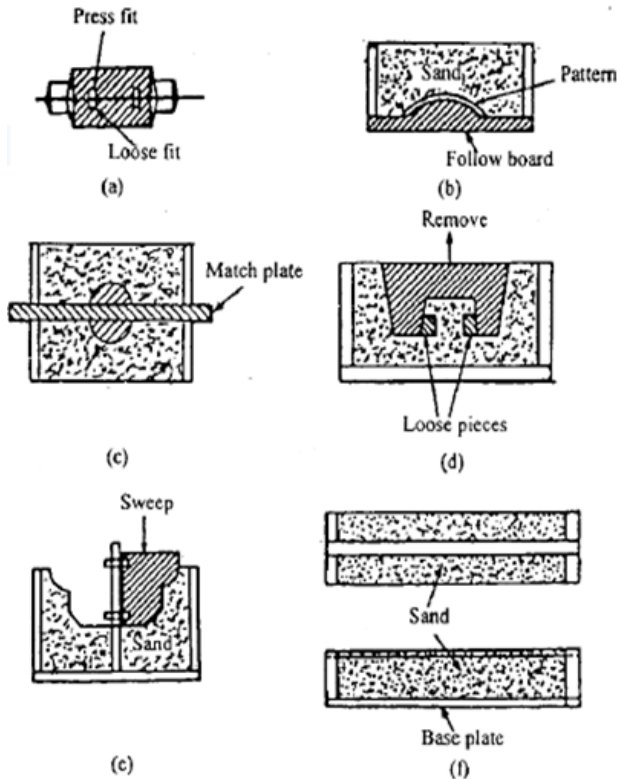
lain-lain. Namun demikian jika kita lihat industri manufaktur yang bergerak dibidang pengecoran ini jumlahnya masih kecil dengan kualitas produknya pun masih rendah walaupun ada produk dengan kualitas tinggi tetapi masih dengan teknologi luar negeri. Hal ini menjadi tantangan bagi kita semua agar dapat berkompetisi dengan bangsa lain terutama dalam era globalisasi seperti sekarang ini (Sudjana, 2008).

2.2 Pattern

Pattern adalah sebuah replika atau bentukan dari benda objek yang dibuat melalui beberapa modifikasi yang disesuaikan dengan jenis cetakan. Material yang digunakan pada pembuatan *pattern* ini biasanya adalah kayu, logam atau plastik. *Wax* dan *plaster* biasanya pun digunakan pada aplikasi yang berbeda. *Mahogany* adalah bahan yang paling sering digunakan untuk membuat *pattern* karena memiliki sifat lembut, ringan, sehingga mudah untuk dibentuk dan diaplikasikan pada cetakan. Penggunaan material logam pada *pattern* lebih mengutamakan kondisi jika *pattern* tersebut bersifat permanen. Logam lebih berat dan sulit untuk diperbaiki apabila terdapat kegagalan. Bahan plastik untuk *pattern* digunakan karena memiliki berat yang ringan, mudah dibentuk, permukaan yang lembut, ketangguhan yang baik dan dapat mengatasi kelembapan. Syarat untuk *pattern* yang baik adalah sebagai berikut :

- a. Dapat dengan mudah dibentuk
- b. Murah dan memiliki massa yang ringan sehingga mudah dikendalikan
- c. Memiliki kekuatan yang baik
- d. Dapat menjaga benda objek dari ukuran dan bentuk benda objek

Beberapa jenis dari *pattern* dalam pengecoran dan pemilihannya digunakan berdasarkan konfigurasi dari pengecoran. Gambar 2.1 menjelaskan tentang jenis-jenis *pattern* yang biasa digunakan dalam pengecoran.



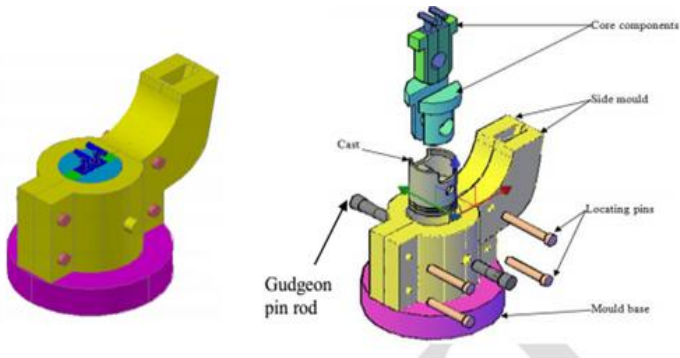
Gambar 2.1 Jenis-jenis cetakan (a)Split pattern,(b) Follow-Board,(c) Match plate, (d)Loose-piece, (e) Sweep,(f) Skeleton pattern (Ahmed,2003)

2.3 Permanent Mould Casting

proses *permanen mold casting* adalah proses *metal mold* yang menggunakan prinsip penuangan menggunakan gaya gravitasi sebagai gaya yang menekan. Prinsip kerja dari *permanent mold casting* hampir sama dengan prinsip kerja yang dimiliki oleh *sand casting* yaitu menggunakan gaya gravitasi sebagai gaya yang menekan aliran logam untuk masuk kedalam



cetakan hanya saja yang membedakan adalah *permanent mold casting* bahan cetakan yang terbuat dari logam. Pada proses *permanent mold casting*, penyaring keramik sering digunakan untuk menyaring dan menghilangkan inklusi di logam cair. Proses penyaringan ini mengubah aliran pada pola cetakan dan tekanan selama proses pengisian logam. Sehingga proses efek dari penyaringan ini seharusnya diperhitungkan dalam analisis pengisian cetakan. (whee kim,2002).



Gambar 2.2 Bagian-bagian cetakan permanen (Ebhot,2015).

Gambar 2.2 terdapat beberapa komponen yang terdapat pada cetakan permanen, yaitu *core* komponen *core* adalah inti yang digunakan untuk membuat rongga pada benda cor, *side mould* adalah *parting* dari cetakan yang dapat dibuka dan disatukan, *locating pin* adalah pin yang digunakan untuk mengunci antar dua *side mould* yang disatukan, *gudgeon pin rod* adalah komponen yang digunakan untuk membuat lubang silinder pada benda cor.



2.4 Toleransi Penyusutan

Semua logam yang digunakan dalam pengecoran ukurannya akan mengecil dan menyusut setelah pemadatan dan pendinginan di dalam cetakan. Untuk mengimbangi hal ini maka pola dari cetakan harus dibuat lebih besar dari ukuran coran yang sebenarnya, sesuai dengan jumlah yang disebut dengan “pengecilan pembuatan pola”. Pembuatan pola dilengkapi dengan aturan khusus dan skala yang disebut dengan “prinsip pengecilan pembuatan pola”. Dalam menyusun pengukuran dari pola, pembuat pola memperkenankan pengecilan ini dengan menggunakan aturan ini yang sedikit lebih panjang dari aturan yang sama dalam panjang yang sama. Untuk pengecoran logam yang berbeda maka mungkin akan berbeda juga prinsip pengecilannya namun pada umumnya prinsip tersebut digunakan pada setiap sisi, dimana ada dua skala, jumlah total skalanya adalah empat untuk empat logam coran umum, seperti baja, besi cor, kuningan, dan Aluminium. Pembagian pada setiap skala ini ukurannya dilebihkan dengan jumlah yang proporsional, contohnya saat membuat pola untuk besi cor, pembuat pola menggunakan pengukuran prinsip pengecilan sekitar 10 mm tiap 1 meter lebih panjang dari ukuran konvensional karena besi cor menyusut 10 mm tiap 1 meter. Pola asal yang digunakan untuk membuat pola logam memerlukan penghitungan toleransi penyusutan yang ganda. (Banga, 1981)

Secara umum, terdapat tiga jenis penyusutan yaitu penyusutan *shrinkage*, penyusutan *draft*, dan penyusutan *machining*. Penyusutan *shrinkage* dapat dicegah melalui pembuatan *pattern* yang lebih besar dari bentuk benda objek yang seharusnya. *Shrinkage* terjadi karena adanya perbedaan temperatur yang jauh berbeda antara temperatur peleburan dan temperatur pendinginan (sewaktu solidifikasi). Bisa juga terjadi diakibatkan oleh jenis *molding* yang tidak sesuai dengan temperatur lebur logam.



Tabel 2.1 Penyusutan *Shrinkage* Beberapa Jenis Logam

Logam	Penyusutan Shrinkage (m)
Besi tuang kelabu	0.0105
Besi tuang putih	0.016 – 0.023
Baja karbon	0.0201
Baja kromium	0.2
Alumunum	0.013
Alumunium perunggu	0.02 – 0.023
kuningan	0.0155
Perunggu	0.0155 – 0.022
Tembaga	0.016
Timah	0.026
Magnesium	0.013

Ketika *pattern* harus diambil dari cetakan pasir, ada kemungkinan tepi permukaan dari cetakan pasir akan terkikis atau dikarenakan adanya hantaman logam cair yang mengakibatkan pasir terkikis. Untuk menghindari hal tersebut maka dibutuhkan bentuk lancip sehingga akan lebih mudah untuk mengambil *pattern* dari cetakan pasir. Sudut dari *taper* dinamakan *draft angle*. Nilai dari *draft angle* tergantung dari bentuk kompleks *pattern*, tipe cetakan yang digunakan maupun tingginya permukaan cetakan. Untuk beberapa jenis material yang digunakan dalam pembuatan *pattern*, terdapat *draft angle* tersendiri yang dijelaskan oleh Tabel 2.2



Tabel 2.2 *Draft Angle* Beberapa Material *Pattern*

Material <i>Pattern</i>	Draft Angle (°)	
	Outer	Inner
Wood	0,25 – 3	0,5 – 3
Metal	0,35 – 1,5	0,5 – 3
Plastic	0,25 – 1,0	0,35 – 2,25

Permukaan benda objek setelah dicetak melalui pengecoran terdapat kemungkinan memiliki dimensi yang tidak akurat dikarenakan oleh beberapa alasan. Oleh karena itu, diperlukan proses lebih lanjut yaitu *machining* seperti *grinding* sehingga dimensi yang dimiliki oleh benda objek dapat sesuai. Selama dilakukan proses *machining*, permukaan benda akan terkikis. Untuk mengantisipasi banyaknya permukaan benda yang terkikis maka dibutuhkan penyusutan *machining* sebelum dilakukan proses pengecoran (Ahmed, 2003).

Tabel 2.3 Penyusutan *Machining* Beberapa Material untuk Proses Pengecoran

Dimension (mm ²)	Allowance (mm)		
	Bore	Surface	Cope Side
<i>Cast Iron</i>			
<i>Up to 300</i>	3	3	5.5
<i>300 to 500</i>	5	4	6
<i>500 to 900</i>	6	5	6
<i>Cast Steel</i>			
<i>Up to 150</i>	3	3	6
<i>150 to 500</i>	6	5,5	7,0
<i>500 to 900</i>	7	6	9
<i>Non Ferrous</i>			
<i>Up to 200</i>	2	1,5	2
<i>200 to 300</i>	2,5	1,5	3
<i>300 to 900</i>	3	2,5	3



2.5 Pemeriksaan Coran

Pemeriksaan hasil coran adalah dimana hasil coran yang dilakukan akan diperiksa dan diuji.

Pemeriksaan coran mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Memelihara kualitas
Kualitas dan baiknya produk coran harus dijamin dengan jalan memisahkan dengan produk gagal
2. Penekanan biaya dengan mengetahui lebih dulu produk yang cacat
Dalam pemeriksaan penerimaan bahan baku dan bahan yang diproses sejak dari pembuatan cetakan sampai selesai.
3. Penyempurnaan teknik.
Menurut data kualitas yang didapat dari awal pemeriksaan dan percobaan, menyisihkan produk yang cacat dapat dilakukan lebih awal dan selanjutnya tingkat kualitas dapat dijaga.

Pemeriksaan produk coran dapat digolongkan menjadi:

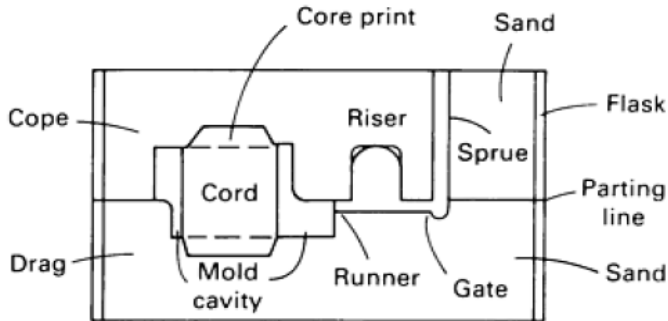
1. Pemeriksaan rupa
Dalam pemeriksaan ini yang dilihat adalah: ketidak teraturan, inklusi retakan dan sebagainya.
2. Pemeriksaan Cacat (pemeriksaan tak merusak)
Dalam pemeriksaan ini diteliti adanya cacat atau tidak dalam hasil coran seperti: rongga udara, rongga penyusutan, retakan dan sebagainya.
3. Pemeriksaan bahan
Dalam pemeriksaan ini ketidakaturan bahan diteliti. Demikian juga halnya dengan komponen, struktur mikro dan sifat mekanik diperiksa.



-
4. Pemeriksaan dengan merusak
pemeriksaan dengan merusak dilakukan dengan cara merusak hasil coran tersebut untuk dapat melihat hasil dan kualitas dari hasil coran tersebut dan dapat membedakan dengan produk cacat dengan yang baik. Pemeriksaan kualitas dilakukan sesuai dengan ketentuan yang dibuat sebelumnya mengenai ukuran dan jumlah contoh, sedangkan pemeriksaan kecacatan produk dilakukan setiap kali apabila diperlukan. Sebagai hasil dari pemeriksaan produk mengenai macam-macam cacat, bentuk, tempat yang diteliti, keadaan produk dan lain-lainnya harus dicatat secara tepat, selanjutnya bagi produk yang lulus pemeriksaan, tingkat kualitasnya harus dicatat dengan alur yang sama agar dapat membedakan hasil yang cacat dan yang lolos pemeriksaan (Surdia, 2000.)

2.6 Gating system

Gating system mengalirkan logam cair dari atas cetakan menuju cetakan coran. logam memasuki cetakan dari atas, dengan *pouring cup* atau *pouring basin*. *Cups* terletak pada bagian atas dari *sprue*. *Cups* dibuat dengan mencetak atau memotong bagian atas dari *sprue*. Dalam membuat *pouring cup*, perlu diperhatikan sudut kecuramannya. Corong yang lebih kecil mungkin menggunakan cup, tapi untuk meminimalisir cipratan atau turbulensi, *pouring basin* dibutuhkan. Dari *pouring basin* kemudian masuk melalui *sprue*. Pada bagian bawah *sprue* kemudian terdapat daerah yang membesar. Pada bagian bawah *sprue* biasanya terdapat *choke* yang kemudian mengalirkan logam menuju *runner*. *Choke* biasanya terdapat pada bagian awal dari *runner*. Kemudian *runner* membawa logam menuju *ingate* yang merupakan pintu menuju dari cetakan coran. Pada gambar 2.3 dapat dilihat skema struktur dari cetakan pasir.



Gambar 2.3 Skema struktur pada cetakan pasir (ASM Handbook Volume 15, 1988)

Pouring basin. Bentuk terbaik dari pouring basin adalah kotak dengan dasar yang rata dibandingkan dasar yang membulat. *Basin* harus cukup besar untuk menampung logam ketika dilakukan penuangan logam cair dan harus cukup dalam untuk mencegah terjadinya pusaran. *Sprue* harus berbentuk menyempit dan meruncing ke bawah sehingga meminimalisir terjadinya turbulensi di dalam *sprue*. Pada bagian bawah *sprue* bertujuan untuk mengalirkan logam menuju gating system. Jika *sprue* terlalu besar, maka tidak dapat mengisi dengan baik sehingga menyebabkan tumpahan pada logam, erosi pada bagian sisi *sprue*, dan pembentukan oksida. Pada bagian bawah *sprue* biasanya datar dan tidak dianjurkan untuk berbentuk membulat karena dapat menyebabkan turbulensi pada aliran logam. *Choke*, *Choke* mengatur logam mengisi cetakan. Biasanya *choke* dibentuk di runner atau pada bagian bawah *sprue*, dan tidak pernah ditempatkan pada bagian atas *sprue*. Diameter dari *choke* disesuaikan dengan kecepatan dari penuangan *Runner*. Bentuk



terbaik untuk *runner* adalah kotak atau trapezium karena dapat meminimalisir turbulensi pada aliran logam. Kerika rasio cukup besar seperti 1:4:4 logam mengalir secara lambat, sehingga cukup untuk slag pengotor memisahkan diri. Untuk besi coran dan paduan non-ferous digunakan *runner* dengan sisi yang dangkal sehingga memberikan lebih banyak permukaan atas untuk menjebak slag dan pengotor. Begaimanapun juga, biasanya dalam aliran ini terjadi *heat losses* dan *frictional losses*. Pada pengecoran besi biasanya dituang dengan *runner* berbentuk kotak untuk meminimalisir *heat losses*. Pada akhir *runner* setelah *ingate* terakhir biasanya diberikan *runner extension* untuk menjebak logam pertama yang dituang, karena biasanya disitu terdapat akumulasi dari pengotor dan gas. *Ingate*, *Ingate* berada pada bagian bawah, atas, atau pada sisi pada cetakan. masing-masing dari penempatan *ingate* mempunyai alasan tersendiri. *Ingate* pada bagian bawah memberikan aliran yang tidak turbulen dan lancar. Karena *gating* bagian bawah tidak baik untuk *directional solidification*, maka *riser* dibutuhkan dengan logam cair ditung dari *ladle* untuk mengisi *riser* setelah *casting* terisi. *Gate* yang memiliki tebal lebih dari setengah tebal dari coran atau kurang dari dua kali tebal coran akan dapat menyebabkan *hot spot* dan cacat. *Riser*, *Riser* mempunyai banyak fungsi, namun fungsi utamanya adalah untuk menyuplai logam cair yang diperlukan untuk meminimalisir menanggulangi terjadinya penyusutan yang terjadi saat pembekuan di dalam coran. Kebutuhan *riser* bergantung pada banyaknya logam yang akan dituang. Baja dan besi cor putih, dan kebanyakan paduan *non-ferrous* mempunyai *range* pendinginan yang panjang dan membutuhkan *riser* yang besar dan sistem yang rumit. (American Foundrymen's Society, 1966).

Hampir semua logam dan paduan berkontraksi saat pembekuan, volume dari logam cair akan berubah karena terjadi kontraksi saat berubah menjadi solid untuk meminimalisir terjadinya penyusutan akibat adanya kontraksi dari *liquid* menuju *solid* maka perlu disiapkan *riser*. Ada dua tipe yang paling umum



dipakai dalam pengecoran, yaitu top dan side risers. Dalam menggunakan riser ada beberapa aspek yang diperhatikan, yaitu; (1) bentuk riser, (2) ukuran *riser*, (3) penempatan riser, (4) jenis pengecoran, (5) penghubung *riser* pada coran, (6) penggunaan *chill*, (7) penggunaan insulator dan *exothermic compound*, (8), dan konsisi khusus untuk bagian sambungan (Heine, 2001).

2.6.1 Perhitungan Saluran Masuk

Tingkat spesifik dimana cetakan harus dituangkan adalah fungsi dari *Pouring rate* yang didapat dari beberapa aspek meliputi *fluidity material*, keadaan *ladle*, karkteristik dari logam yang akan dicetak, dan keadaan dari cetakan. Secara umum, hasil yang diinginkan adalah agar cetakan terisi secepatnya dengan memperhatikan adanya turbulensi yang mungkin terjadi dari banyak gaya tekan yang terjadi selama proses penuangan. Mempertimbangkan dari hasil studi yang telah dibuat dasarnya oleh Dieter, didapat rumus untuk mencari waktu tuang sebagai berikut.

$$Pouring\ time(sec): K(0,95 + \frac{T}{0,833})\sqrt{W} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana T: rata-rata ketebalan logam(in.)

W: Berat benda *casting*(lbs.)

K: *Fluidity factor*

Rumus ini dapat digunakan untuk proses casting sampai dengan 1000 lb.²

Langkah-langkah yang harus dilakukukan dalam menghitung waktu tuang adalah sebagai berikut

1. Menentukan berat benda *casting*(W)
2. Menentukan komposisi
3. Menentukan temperatur tuang
4. Menghitung *fluidity factor*
5. Menentukan waktu tuang

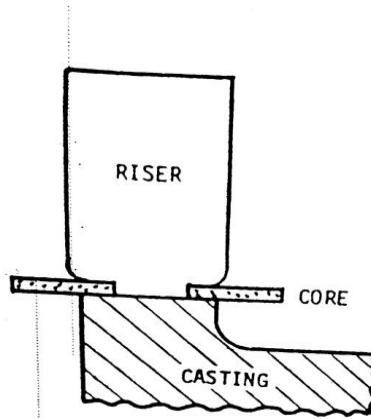


Setelah didapat waktu tuang langkah selanjutnya adalah menyesuaikan dengan desain yang telah dibuat (AFS, 1966).

2.6.2 *Riser*

Seperti kita ketahui riser memiliki banyak fungsi, yang paling utama adalah menyediakan cadangan logam cair saat penyusutan pada proses solidifikasi pada pengecoran. Kebutuhan dari riser tergantung pada berapa banyak logam dituangkan. Besi tuang kelabu memerlukan logam cadangan lebih sedikit dikarenakan adanya proses graphitisasi yang terjadi selama proses akhir pendinginan. Baja dan besi tuang putih, dan beberapa paduan lainnya, memiliki waktu pendinginan yang lebih panjang dan memerlukan sistem *riser* yang telah dipertimbangkan. Ada beberapa variabel yang harus dipertimbangkan dalam mempertimbangkan sistem cadangan yaitu:

1. Bentuk dari *riser*
2. Ukuran *riser* sebagai fungsi bentuk-bentuk benda *casting*
3. Lokasi dari *riser*
4. Penggabungan dengan benda *casting*
5. Koneksi riser dengan benda *casting*
6. Penggunaan dari *chills*
7. Penggunaan dari *insulator* dan *exothermic compounds*
8. Kondisi khusus *riser* dan wilayah Penggabungannya



Gambar 2.4 *Riser pada benda casting*(AFS,1966)

2.6.3 *Riser Calculation*

Seperti yang kita ketahui *riser* harus tetap cair lebih lama dari pada benda *casting*, karena *riser* harus mampu mengalirkan logam cairnya ke benda coran. Agar *riser* efektif maka rasio volume harus lebih kecil dari pada *surface area / volume*. Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam menghitung *riser* adalah .

1. Menghitung volume benda *casting*
2. Menghitung luas permukaan benda *casting*
3. Tentukan ukuran *riser*(diameter dan tinggi)
4. Menghitung volume *riser*
5. Menghitung luas permukaan *riser*
6. Menghitung luas area kontak antara *riser* dan benda cor



7. Menghitung luas area sebenarnya dengan mengurangkan luas permukaan total dengan luas kontak
8. Menghitung SA_r dibagi dengan volume
9. Menghitung SA_c dibagi dengan volume
10. Menghitung *freezing ratio*

$$F.R = \frac{SA_c/V}{SA_r/V} \dots\dots\dots(2.2)$$

11. Menghitung *volume ratio*

$$V.R = \frac{\text{volume of riser}}{\text{volume of Casting}} \dots\dots\dots(2.3)$$

12. Tentukan letak nilai F.R dan V.R pada kurva

(AFS,1966)

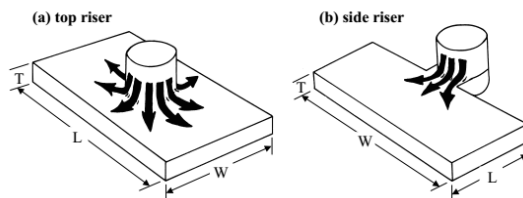
2.6.4 Riser Feeding Distance

Agar efektif, *riser* harus terus menyediakan cadangan logam cair untuk proses *casting* sampai benda yang akan di *casting* telah sepenuhnya berbentuk padat. Dengan demikian, *riser* harus memiliki waktu pembekuan yang lebih lama dari pada benda casting. Karena faktor penting yang mempengaruhi proses pembekuan adalah transfer panas, maka meminimalkan kehilangan panas dari *riser* menjadi pertimbangan yang diperhitungkan. Untuk *riser* volum tetap , jumlah minimum kehilangan panas akan terjadi ketika bangun geometri memiliki luas permukaan sekecil mungkin sehingga hal ini akan

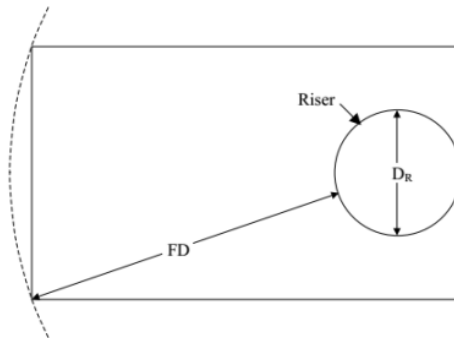


meminimalisir perpindahan panas yang terjadi. Salah satu cara yang digunakan untuk meminimalisir perpindahan panas pada *riser* adalah penambahan berbagai sistem isolasi atau *exothermic sleeve* yang berfungsi untuk mengurangi transfer panas pada riser. Terlepas dari bentuknya, *riser* harus cukup besar untuk menyediakan logam cadangan yang cukup tanpa adanya penyusutan pada benda *casting*.

Feeding distance adalah jarak maksimum dimana *riser* dapat memasok logam cadangan sehingga bagian pengecoran masih relatif bebas dari porositas internal. Oleh karena itu, jarak maksimum *feeding distance* menentukan berapa jumlah *riser* yang dibutuhkan untuk sebuah benda *casting*. *Feeding distance* selalu diukur dari tepi *riser* ke titik terjauh di bagian pengecoran yang dapat diberi cadangan logam ada beberapa tipe penempatan *riser* yaitu *riser* atas dan *riser* samping pada gambar 2.5, Ketika beberapa tingkat dibuat untuk menyuplai logam cair hal ini disebut *lateral feeding*. *Lateral Feeding Distance* adalah jarak maksimum dimana sebuah *riser* tunggal dapat menyediakan cadangan logam cair. Cara lain untuk menjelaskan bagaimana jarak *feeding* diukur dengan menggambar lingkaran berpusat pada tepi *riser* dengan radius sama dengan jarak *feeding* ditambah radius riser. Kemudian bagian pengecoran dalam lingkaran diberi cadangan oleh *riser* itu. Untuk coran dengan banyak *riser*, lingkaran jangkauan harus tumpang tindih sehingga semua bagian dari *casting* berada di dalam jangkauan tersebut. (SFSA, 2001)

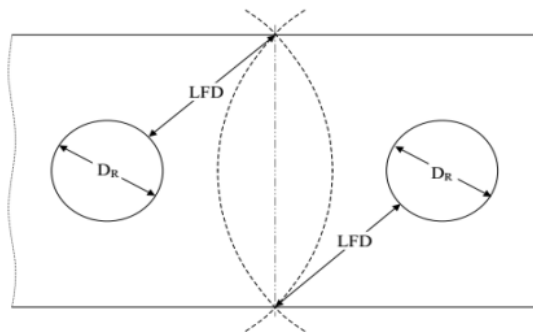


Gambar 2.5 Macam dari jenis *feed riser* (SFSA.2001).



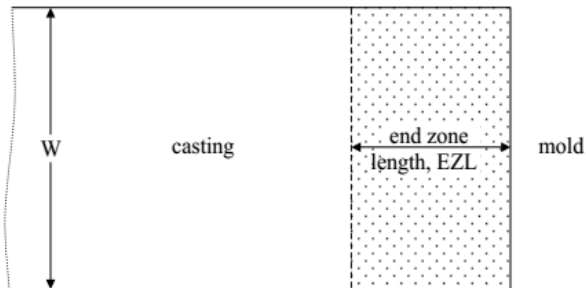
Gambar 2.6 Ilustrasi konsep dari *feeding distance* (SFSA.2001).

Pada Gambar 2.6 T adalah tebal dari benda cor sedangkan H adalah tinggi vertical keatas dari *surface riser*



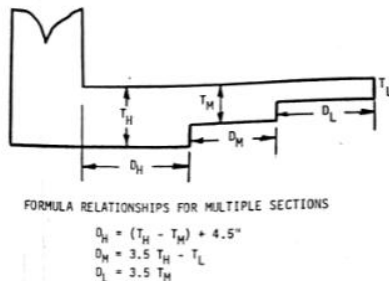
Gambar 2.7 Sistem dengan dua *riser* (SFSA.2001)

Pada Gambar 2.7 bisa dilihat ada sistem dengan dua riser dengan masing-masing *length feed distance*(LFD) atau jangkauan dari *riser* dari dua buah *riser* yang tersedia. Jarak LFD berjarak dua kali tebal benda coran.



Gambar 2.8 Ilustrasi dari EZL(end zone length) (SFSA.2001)

Gambar 2.8 Menggambarkan bagian paling ujung dari benda coran, EZL dapat menjadi posisi dimana proses solidifikasi dimulai jarak jangkaun dari EZL kebagian tengah adalah 2,5 kali tebal benda coran.

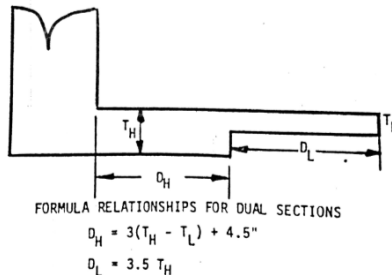


Gambar 2.9 *Feeding distance* pada jenis benda coran bertingkat tiga (AFS,1966)

pada Gambar 2.9 D_H adalah panjang dari tingkat pertama dari *feeding distance* tingkat pertama, sedangkan T_H adalah tebal dari *runner* tingkat pertama, D_M adalah panjang *feeding distance*



tingkat kedua, sedangkan T_M adalah tebal dari *runner* pada tingkat kedua, D_L adalah panjang *feeding distance* dari tingkat ketiga sedangkan T_L adalah tebal dari *runner* ketiga.

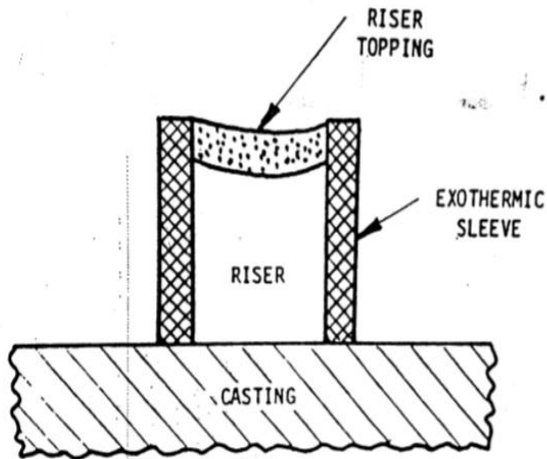


Gambar 2.10 *Feeding distance* pada jenis benda coran bertingkat dua (AFS,1966)

Sistem *feeding distance* dengan dua tingkat bias dilihat pada Gambar 2.10, pada Gambar 2.10 D_H adalah jarak *feeding distance* pada tingkat pertama dan T_H adalah tebal dari *runner* pada tingkat pertama, D_L adalah panjang tingkat kedua dan T_L adalah tebal dari *runner* kedua (AFS,1966).

2.6.5 Exothermic Sleeves and Topping Riser

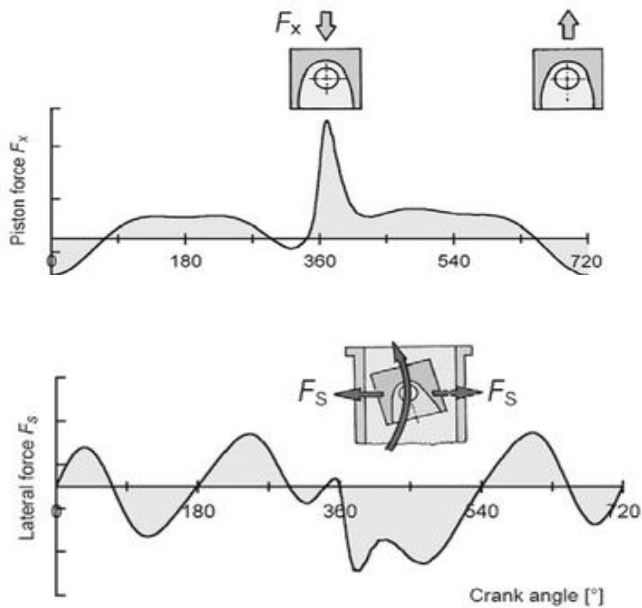
Materi eksotermis mengandalkan reaksi kimia eksotermis, bersumber panas dari logam cair, untuk menaikkan temperatur *sleeve* dan mengurangi kekuatan pendorong untuk transfer panas. Bahan isolasi memanfaatkan bahan dengan difusivitas termal rendah untuk mengurangi kecepatan transfer panas. *Riser topping* digunakan untuk meminimalisir *heat loss* dari proses radiasi, *riser topping* biasanya berbahan dasar grafit dan *charcoal*.



Gambar 2.11 Penggunaan dari *exothermic sleeve* dan *riser topping* (AFS,1966)

2.7 Piston

Dalam silinder dari mesin, energi yang tersimpan pada bahan bakar dengan cepat diubah menjadi panas dan tekanan selama siklus pembakaran. Nilai Panas dan tekanan bertambah sangat tinggi dalam waktu yang sangat singkat. Piston, sebagai bagian yang bergerak dari ruang pembakaran, memiliki tugas mengubah energi yang dilepaskan ini menjadi kerja mekanik. Struktur dasar dari piston adalah silinder berongga, ditutup di satu sisi, dengan *crown* (bagian atas piston) segmen piston dengan sabuk cincin, bos pin, dan bagian bawah. Kepala piston mentransfer gaya yang gas hasilkan dari pembakaran campuran bahan bakar-udara melalui pin bos, piston pin, dan batang penghubung, dengan crankshaft.

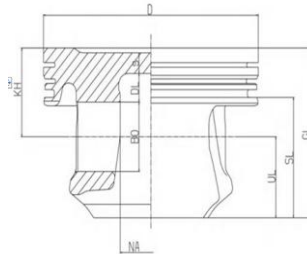


Gambar 2.12 Gaya dan arah pada sistem kerja piston (Heinz, 2012).

Selama siklus pembakaran, gaya lateral mengubah arah beberapa kali, yang menekan piston dari satu sisi lubang cylinder ke yang lain, karena toleransi piston yang ada. Kurva diatas menunjukkan kekuatan piston dan kurva gaya lateral sebagai fungsi sudut engkol (Heinz, 2012).



2.7.1 Dimensi Piston



BO: Pin bore \varnothing (piston pin \varnothing)
KH: Compression height
NA: Pin boss spacing
D: Piston \varnothing
s: Crown thickness
DL: Expansion length
SL: Skirt length
GL: Total height
UL: Lower height

Gambar 2.13 Gambaran umum piston(Heinz.2012)

Pin bore adalah lubang yang dibuat dalam piston yang berfungsi sebagai tempat pengait antara *piston head* dan *connecting rod*, *crown thickness* adalah tebal dari bagian atas kepala piston, *skirt* adalah bagian bawah piston sebagai bagian bawah dari piston, mengatur arah piston dalam silinder. *Skirt* dapat berfungsi dengan baik jika memiliki jarak ruang yang cocok dengan silinder. Panjang *skirt* yang cukup dan jarak yang rapat menjaga kontak tetap konstan dan melindungi piston bergesekan antara dinding silinder dengan kepala piston(Heinz,2012).

2.7.2 Sifat mekanik

Dari beberapa data hasil pengujian piston didapat data seperti tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Data hasil sifat mekanik piston dari dua jenis piston (Sharma,2013)

Alloy condition	As-cast	Melt-treated	Heat-treated	As-cast	Melt-treated	Heat-treated
Tensile strength [N/mm ²]	205	224	252	144	152	183
Hardness [VHN]	102	110	124	117	124	145
Ductility [%age elongation]	1.5	1.8	2.5	1	1.08	1.28



Tabel.2.5 Ukuran umum dimensi piston(Sharma,2013)

	Gasoline engines		Diesel engines*
	Two-stroke	Four-stroke (passenger cars)	Four-stroke (passenger cars)
Diameter D [mm]	30–70	65–105	65–95
Total height GL/D	0.8–1.0	0.6–0.7	0.8–0.95
Compression height KH/D	0.4–0.55	0.30–0.45	0.5–0.6
Pin diameter BO/D	0.20–0.25	0.20–0.26	0.3–0.4
Top land height [mm]	2.5–3.5	2–8	6–12
Second ring land height St/D *	0.045–0.06	0.040–0.055	0.055–0.1
Groove height for first piston ring [mm]	1.2 and 1.5	1.0–1.75	1.75–3.5
Skirt length SL/D	0.55–0.7	0.4–0.5	0.5–0.65
Pin boss spacing NA/D	0.25–0.35	0.20–0.35	0.25–0.35
Crown thickness s/D or s/DMu, max **	0.055–0.07	0.06–0.10	0.14–0.23

* Values for diesel engines apply to ring carrier pistons, ** Diesel

Piston hampir secara eksklusif terbuat dari paduan aluminum-silikon dari eutektik, dan komposisi sebagian hipereutektik, yang dapat berubah dengan mudah dan hampir selalu dapat ditempa.

Tabel 2.6 Beberapa jenis piston berdasarkan komposisinya(Heinz,2012).

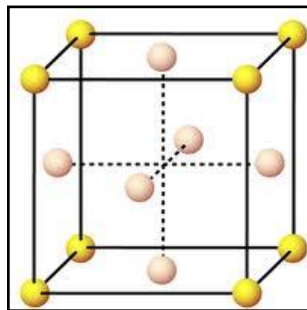
	M124	M126	M138	M244
	AlSi12CuMgNi	AlSi16CuMgNi	AlSi18CuMgNi	AlSi25CuMgNi
Si	11.0–13.0	14.8–18.0	17.0–19.0	23.0–26.0
Cu	0.8–1.5	0.8–1.5	0.8–1.5	0.8–1.5
Mg	0.8–1.3	0.8–1.3	0.8–1.3	0.8–1.3
Ni	0.8–1.3	0.8–1.3	0.8–1.3	0.8–1.3
Fe	max. 0.7	max. 0.7	max. 0.7	max. 0.7
Mn	max. 0.3	max. 0.2	max. 0.2	max. 0.2
Ti	max. 0.2	max. 0.2	max. 0.2	max. 0.2
Zn	max. 0.3	max. 0.3	max. 0.3	max. 0.2
Cr	max. 0.05	max. 0.05	max. 0.05	max. 0.6
Al	remainder	remainder	remainder	remainder



	M142	M145	M174+	M-SP25
	AlSi12Cu3Ni2Mg	AlSi15Cu3Ni2Mg	AlSi12Cu4Ni2Mg	AlCu2.5Mg1.5FeNi
Si	11.0–13.0	14.0–16.0	11.0–13.0	max. 0.25
Cu	2.5–4.0	2.5–4.0	3.0–5.0	1.8–2.7
Mg	0.5–1.2	0.5–1.2	0.5–1.2	1.2–1.8
Ni	1.75–3.0	1.75–3.0	1.0–3.0	0.8–1.4
Fe	max. 0.7	max. 0.7	max. 0.7	0.9–1.4
Mn	max. 0.3	max. 0.3	max. 0.3	max. 0.2
Ti	max. 0.2	max. 0.2	max. 0.2	max. 0.2
Zn	max. 0.3	max. 0.3	max. 0.3	max. 0.1
Zr	max. 0.2	max. 0.2	max. 0.2	–
V	max. 0.18	max. 0.18	max. 0.18	–
Cr	max. 0.05	max. 0.05	max. 0.05	–
Al	remainder	remainder	remainder	remainder

2.7.3 Aluminum

Aluminum mempunyai struktur kristal *Face Centered Cubic* pada Gambar 2.14, dengan bilangan koordinasi 12 dan 4 atom di unit sel nya. Transformasi alotropik pada 870°C dan 350°C dikemukakan untuk menjelaskan diskontinuitas pada perubahan sifat, namun pada investigasi lebih lanjut pada logam yang lebih murni terbukti bahwa pada tekanan normal mulai temperatur 4°C hingga temperatur lebur tidak ada transformasi alotropik (Leighou, 1953).



Gambar 2.14 Struktur kristal FCC (Callister, 2010).



ada ASM Handbook Volume 2 (1990) dijelaskan sifat-sifat Aluminum sebagai berikut:

1. Sifat termal

- a) Temperatur leleh : 660,4 °C
- b) Temperatur didih : 2494 °C
- c) Pemuaian Termal
- d)

Tabel 2.7 Koefisien pemuaian termal aluminum (ASM Handbook Volume 2, 1990)

Rentang Temperatur, °C	Koefisien Rata-Rata, $\mu\text{m/m.k}$
-200 hingga 20	18,0
-150 hingga 20	19,9
-100 hingga 20	21,0
-50 hingga 20	21,8
20 hingga 100	23,6
20 hingga 200	24,5
20 hingga 300	25,5
20 hingga 400	26,4
20 hingga 500	27,4

Konduktivitas termal : 247 W/m.K pada 25°C
90 W/m.K pada 660,4°C

1. Sifat mekanik

Tabel 2.8 Sifat mekanik aluminum (ASM Handbook Volume 2, 1990)

Kemurnian, %	Kekuatan Tarik Yield, $\pm 0,2\%$		Kekuatan Tarik		Pemanjangan dalam 50 mm, %
	Mpa	Ksi	MPa	ksi	



99,99	10	1,4	45	6,5	50
99,8	20	2,9	60	8,7	45

2.8 Cacat Coran

Proses finishing dalam pengecoran merupakan proses yang terjadi setelah penuangan dan proses pendinginan. Ada beberapa proses *finishing*, yaitu *casting knock out*, *cut off casting*, pembersihan, *grinding*, dan *pressing*. *Casting knock out* yaitu pelepasan cetakan keramik dengan menggunakan mesin *knocking* atau biasa disebut dengan *knocker*. *Cut Off casting* yaitu pemisahan produk dari gating *system*-nya. Proses ini menggunakan mesin potong yang digunakan adalah tipe roda pemotong dengan posisi tetap. Pembersihan ada 3 (tiga metode) ada 3 (tiga) metode yang umum digunakan. Pertama pembersihan secara *abrasive*, metode pembersihan *abrasive* dengan mesin *Hook Shot Blasting*. Pada proses pembersihan dengan *Hook Shot Blasting*, produk ditembaki dengan menggunakan bola baja berukuran kecil. Kedua dengan cara kimiawi atau *pickling*, pada proses ini benda coran dimasukkan ke dalam larutan kimia dengan komposisi 75% air, 8% HF, 17% HNO₃. Untuk yang ketiga yaitu pembersihan dengan cara penyemprotan air. *Grinding* yaitu proses untuk meratakan permukaan hasil coran. *Pressing* yaitu proses untuk mempresisikan produk hasil coran

Adapun untuk *defect* atau cacat yang biasa terjadi dalam proses pengecoran yaitu *shrinkage*, *coldshut* dan inklusi keramik. *Shrinkage* yaitu penyusutan akibat adanya perbedaan temperatur pada proses penuangan. *Coldshut* yaitu rongga dengan ujung bulat terjadi karena proses pertemuan dua aliran konvergen yang tidak sempat menyatu akibat proses pembekuannya cepat. Proses pencegahan dari cacat ini yaitu memperbaiki *gating system*. Inklusi keramik yaitu rongga akibat adanya keramik yang



rontok. Cacat ini disebabkan karena lapisan keramik tergerus pada saat proses penuangan.

Coran paduan ringan adalah coran paduan aluminimum, coran paduan magnesium, dan sebagainya. Aluminum murni mempunyai sifat mampu cor dan sifat mekanis yang jelek. Oleh karena itu dipergunakan paduan aluminum karena sifat-sifat mekanisnya diperbaiki dengan menambahkan tembaga, silisium, magnesium, mangan, nikel, dan sebagainya. Coran paduan auminium adalah ringan dan merupakan penghantar panas yang baik sekali, yang dipergunakan apabila sifat-sifat tersebut diperlukan. Al-Si, Al-Cu-Si, dan Al-Mg-Si adalah deretan dari paduan aluminum yang banyak dipergunakan untuk bagian-bagian mesin, Al-Cu-Ni-Mg dan Al-Si-Cu-Ni-Mg adalah deretan untuk bagian-bagian mesin yang tahan panas, dan Al-Mg adalah untuk bagian-bagian tahan korosi.

Paduan magnesium lebih ringan daripada logam umum lainnnya, sebab berat jenisnya kira-kira 1,8. Biasanya aluminum, mangan berilium, dan sebagainya ditambahkan sebagai unsur paduan(Surdia, 2000).

Cacat-cacat pada coran paduan aluminum adalah sama dengan pada besi cor, tetapi pada paduan ini terutama mudah terjadi rongga penyusutan, dros dan lubang jarum. Rongga penyusutan dapat dihindarkan dengan mempergunakan banyak cil dan penambah yang direncanakan baik seperti halnya pada baja cor (Surdia, 2000).

1. Lubang Jarum

Ciri khas

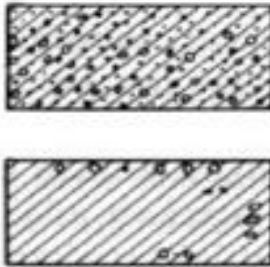
Lubang jarum timbul apabila gas-gas, terutama gas hidrogen, terbawa dalam logam cair terkurung dalam logan yang disebabkan tekanan logam selama pembekuan.

Sebab-sebab

- Gas terbawa dalam logam cair selama pencairan.
- Gas terserap dalam logam cair selama penuangan.
- Reaksi logam induk dengan uap air dari cetakan.



- Titik cair terlalu tinggi dan waktu pencairan terlalu lama
Cara pencegahan
- Penghilangan gas dari logam cair dapat dilakukan dengan peniupan gas inert ke dalam cairan logam, umpamanya gas nitrogen adalah gas yang biasa dipakai untuk maksud tersebut.
- Penghilangan gas dengan khlorida
- Penghilangan gas dengan fluks, terutama fluorida dan khlorida dari logam alkali tanah.
- Pencairan kembali
- Perencanaan yang tidak menyebabkan turbulen pada aliran logamcair
- Harus dipakai pasir yang mempunyai kadar air rendah dan permeabilitas yang sesuai. Pada paduan Al-Mg perlu ditambahkan 0,005% berilium.



Gambar 2.15 Cacat lubang jarum (Banga, 2012).

2.Dros

Ciri khas

Logam cair dari paduan aluminum mudah teroksidasi. Oksida dalam logam cair atau yang dihasilkan pada waktu penuangan terkumpul sebagai dros pada permukaan kup atau di bagian dalam coran.

Sebab-sebab

- Oksida aluminum dihasilkan selama peleburan
- Dros terbawa dalam coran atau terjadi dalam cetakan



- Kadar air dalam cetakan Cara pencegahan
- Perencanaan pengecoran yang dapat menyebabkan turbulensi pada aliran logam cair, tidak boleh dilaksanakan. Perbandingan saluran turun, pengalir, dan saluran masuk harus dibuat: 1:2:2 , 1:2:4 atau 1:4:4 dengan mengambil sistem saluran tidak bertekanan. Selanjutnya harus dipakai cara penuangan bawah.
- Pencegahan dengan menghilangkan kotoran harus dilakukan untuk mencegah terjadinya dross dalam logam cair atau di dalam saluran turun yang terbawa ke dalam cetakan.
- Kadar air dalam cetakan harus serendah mungkin. Cetakan pasir kering adalah lebih baik. Dalam hal mempergunakan cetakan logam, cetakan harus dipanaskan mula sampai 150°C
- Cairan logam dari dasar krus tidak boleh dipakai (paduan magnesium).
- Lebih baik memakai ladle tangan jenis pot (paduan magnesium).



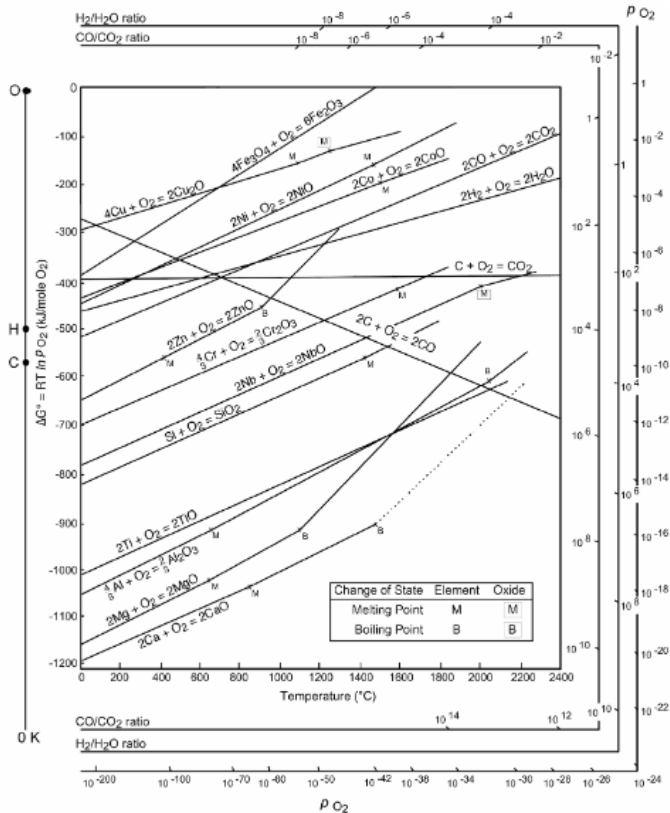
Gambar 2.16 Cacat inklusi terak (Banga, 2012).

Untuk mencegah cacat dalam pengecoran pada aluminium dapat dilakukan beberapa hal. Aluminium mempunyai temperatur lebur yang rendah, maka cetakan pasir pada pengecoran aluminium membutuhkan pasir yang halus. Aluminium mempunyai laju penyusutan yang tinggi maka *sprue*, *gate*, dan *risers* dibutuhkan. Cil logam dengan inti yang lunak kadang diperlukan untuk mencegah peretakan yang disebabkan oleh penyusutan. Logam cair tidak boleh berada dalam udara bebas untuk mencegah penyerapan gas yang berlebihan, juga mencegah pertumbuhan butir yang terlalu besar. Selain itu juga tidak boleh



mengalami pengadukan terlalu banyak setelah dicairkan. Logam tidak boleh dipanaskan dengan jarak yang terlalu jauh dari temperatur leburnya agar tidak terjadi penguapan (Banga, 2012).

2.9 Ellingham Diagram



Gambar 2.17 Diagram Ellingham

Diagram Ellingham merupakan diagram yang berisi energi bebas suatu reaksi yang di plot ke dalam suatu grafik dengan parameter energy bebas vs temperatur. Pada diagram



Ellingham, logam yang aktif secara kimia memiliki energi bebas yang paling tinggi (negatif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram dibagian paling bawah. Sedangkan untuk logam yang memiliki energi bebas terkecil (positif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram dibagian paling atas. Nilai dari ΔF° untuk reaksi oksida merupakan ukuran afinitas kimia suatu logam terhadap oksigen. Semakin negatif nilai ΔF° suatu logam menunjukkan logam tersebut semakin stabil dalam bentuk oksida. Dari diagram Ellingham pada gambar 2.17, kita dapat mengetahui temperature minimal yang dibutuhkan agar reaksi tersebut dapat terjadi. Hal tersebut dapat ditunjukkan oleh perpotongan antara kurva oksida dan garis pembentuk CO. termodinamika hanya dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu reaksi dapat berjalan spontan ataukah tidak pada temperatur tertentu untuk menentukan laju reaksi. Perpotongan antara garis reaksi oksida dan reduksi secara termodinamika menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berjalan pada temperatur tertentu. Selain menggunakan diagram Ellingham, kita juga dapat menentukan termodinamika suatu reaksi melalui perhitungan energi bebas ΔF° dari reaksi tersebut dengan menggunakan ΔF° referensi seperti yang telah tercantum diatas (Komarudin, 2008).

2.10 Penelitian Sebelumnya

Untuk mencegah cacat dalam pengecoran pada aluminium dapat dilakukan beberapa hal. Aluminium mempunyai temperatur lebur yang rendah, maka cetakan pasir pada pengecoran aluminium membutuhkan pasir yang halus. Aluminium mempunyai laju penyusutan yang tinggi maka *sprue*, *gate*, dan *risers* dibutuhkan. Cil logam dengan inti yang lunak kadang diperlukan untuk mencegah peretakan yang disebabkan oleh penyusutan. Logam cair tidak boleh berada dalam udara bebas untuk mencegah penyerapan gas yang berlebihan, juga mencegah pertumbuhan butir yang terlalu besar. Selain itu juga tidak boleh mengalami pengadukan terlalu banyak setelah dicairkan. Logam



tidak boleh dipanaskan dengan jarak yang terlalu jauh dari temperatur leburnya agar tidak terjadi penguapan (Banga, 2012).



Gambar 2.18 Adanya lubang pada hasil pengecoran
(widyanto,2011).

Pada pemanasan cetakan 320°C seluruh rongga terisi dengan baik. Cacat pertemuan dingin maupun kekosongan tidak terjadi. Namun cacat terjebaknya gas dan penyusutan di bawah cover tetap terjadi. Sedangkan pada temperatur pemanasan cetakan 350°C dan 400°C permukaan hampir seluruh dinding piston bagian luar tidak rata dan cacat penyusutan terjadi di berbagai lokasi. Cacat terjebaknya gas dan penyusutan di bawah cover semakin besar. Dari kondisi ini disimpulkan bahwa peningkatan temperatur cetakan akan meningkatkan volume gas yang harus dibuat dari rongga cetak. Pada sisi yang lain proses pembuangan gas tidak begitu baik sehingga gas cenderung terjebak dalam produk cor (widyanto,2011)..

Persoalan cacat yang terjadi di bawah cover piston antara lain menunjukkan bahwa pada lokasi tersebut terjadi penyusutan akibat laju pendinginan yang relatif lambat akibat keterlambatan suplai maupun ketebalan dimensi yang tinggi. Untuk mengatasi



persoalan tersebut beberapa modifikasi cetakan dilakukan dengan pertimbangan sbb:

- a. Suplai logam cair dipercepat dengan menambah saluran tuang pada lokasi yang mendekati cacat. Hal ini dilakukan dengan mencabang saluran masuk pada komponen saluran tuang. Dengan metode ini cacat tetap terjadi meskipun volume cacat dapat berkurang. Dengan memvariasikan temperatur cetakan pada 250°C , 300°C , 320°C , 350°C dan 400°C , volume cacat semakin besar sebanding dengan peningkatan temperatur pemanasan cetakan (Gambar 2.18).



Gambar 2.19 Modifikasi saluran masuk (widyanto,2011).

- b. Modifikasi kedua dilakukan dengan cara memperbesar volume saluran tuang (Gambar 2.19). Secara teoritis karena penyusutan aluminum relatif besar, maka sprue harus dibuat

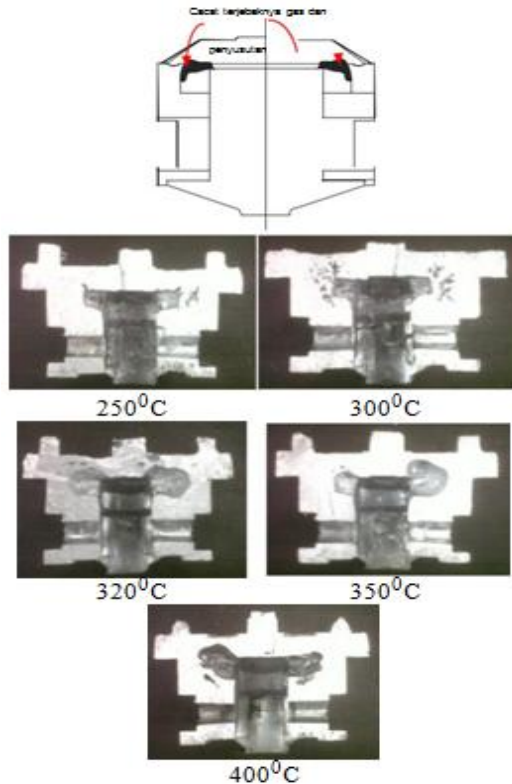


sebesar mungkin sehingga dapat berfungsi sebagai reservoir logam cair. Sampai beberapa saat setelah penuangan logam cair, bila disuatu lokasi mengalami penyusutan, maka pengisian logam cair di lokasi tersebut secara otomatis akan terjadi (widyanto,2011)..



2.20 modifikasi sprue (widyanto,2011).

Dari hasil pengujian pengecoran diperoleh bahwa dengan memperbesar volume sprue, cacat di bawah *cover* masih tetap terjadi. Dari fenomena tersebut disimpulkan bahwa cacat terjadi akibat terjebaknya gas dalam rongga cetak. Pada konstruksi di atas, aliran keluarnya gas dari rongga cetak melawan arah aliran logam cair. Di lokasi terjadinya cacat, ketebalan material paling tinggi sehingga rawan terjadinya penyusutan. Pada kondisi yang sama gas yang terjebak terkumpul di lokasi tersebut. Cacat yang terjadi merupakan gabungan akibat penyusutan dan terjebaknya gas seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.21



Gambar 2.21 Cacat yang terjadi dibawah cover piston yang kondisinya dipengaruhi oleh temperatur pemanasan cetakan (widyanto,2011).

Dengan memperbaiki aliran logam cair dan aliran gas, cacat berpeluang besar untuk dihilangkan. Dengan mengubah arah aliran logam cair sehingga arah aliran tersebut turut



mendorong gas keluar dari rongga cetak merupakan solusi atas terjadinya cacat tersebut. Modifikasi cetakan seperti ditunjukkan dalam. saluran tuang awal digunakan sebagai open riser, sedangkan saluran tuang baru ditambahkan pada sisi samping dan saluran masuk melalui dinding tipis bagian bawah piston. Optimal cetakan dicapai pada 320°C. Pada kondisi tersebut diperoleh kualitas permukaan produk cor terbaik dan cacat dapat dihilangkan (widyanto,2011)..

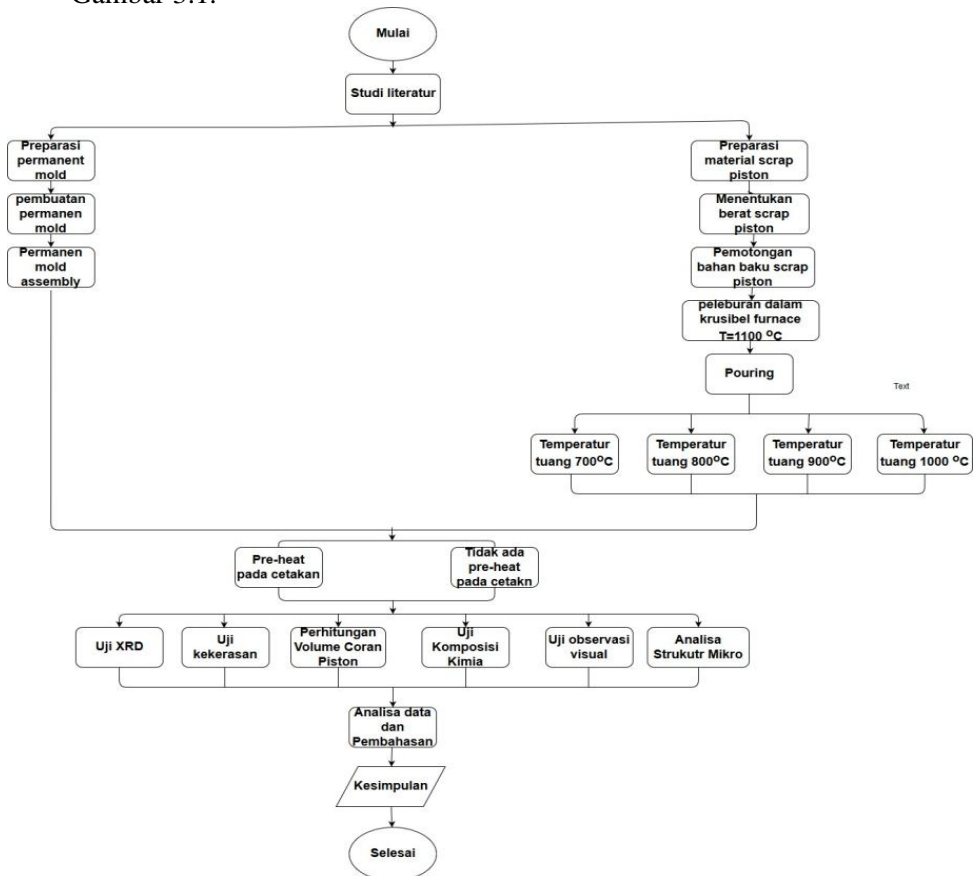
Dalam desain cetakan *die casting*, kesesuaian arah aliran gas dan arah aliran logam cair merupakan aspek dominan untuk mencegah terjadinya cacat terjemaknya gas. Desain saluran tuang dari samping merupakan metode yang optimal untuk mencegah terjadinya cacat tersebut (widyanto,2011)..

Dengan konstruksi cetakan piston tunggal dan metode pemanasan cetakan dari samping, temperatur optimal cetakan dicapai pada 320°C. Pada pemanasan cetakan yang lebih tinggi, cacat porositas dominan terjadi pada sisi permukaan maupun pada bagian bawah *cover*. Dan bila temperatur cetakan di bawah 300°C, cacat pertemuan dingin akan terjadi terutama di lokasi berdinding tipis(widyanto,2011).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap, tahapan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



3.2 Alat

1. *Crusible*

Krus terbuat dari batu tahan api yang digunakan sebagai wadah Aluminium dan logam lainnya dalam proses peleburan.



Gambar 3.2 *Crusible*

2. Gergaji

Digunakan untuk memotong bahan.



Gambar 3.3 Gergaji



-
3. Timbangan Digital
Digunakan untuk menimbang massa bahan.



Gambar 3.4 Timbangan digital

4. *Termometer Infrared*
Termometer infrared digunakan untuk mengukur temperature saat pemanasan dalam furnace.
5. Alat Uji Kekerasan Universal
Alat ini digunakan untuk mengukur kekerasan specimen
6. KertasAmplas
Digunakan untuk grinding specimen pada uji metalografi. Digunakan kertas amplas *silicon carbide grade 80* hingga 2000.
7. OES(*Optical Emission Spectroscope*)
Alat ini digunakan untuk mengetahui komposisi kimia benda hasil coran
8. XRD
Alat ini digunakan untuk mengetahui sistem Kristal.sturktur Kristal serta fasa dari hasil coran.
9. Mesin Grinding dan Polishing
Alat ini digunakan dalam proses grinding serta polishing specimen dalam uji metalografi
10. Mikroskop optikal metalurgi
Alat ini digunakan untuk mengetahui struktur mikro specimen



11. Cetakan permanen piston

Cetakan permanen digunakan sebagai tempat pencetak bentuk benda cor



Gambar 3.5 Cetakan permanen piston

12. Gelas baker

Alat ini digunakan untuk mengukur volume piston dengan cara mencelupkan piston.

3.3 Bahan

1. Scrap piston
Piston bekas dengan cara pembuatan casting
2. Gas LPG
Gas propane digunakan sebagai bahan bakar pemanasan.
3. Bahan ETSA
ETSA yang digunakan adalah keller. Komposisi keller sebagai berikut.

a.	Destilled water	190	ml
b.	HCl	5	ml
c.	FeCl ₃	3	ml
d.	HF	2	ml



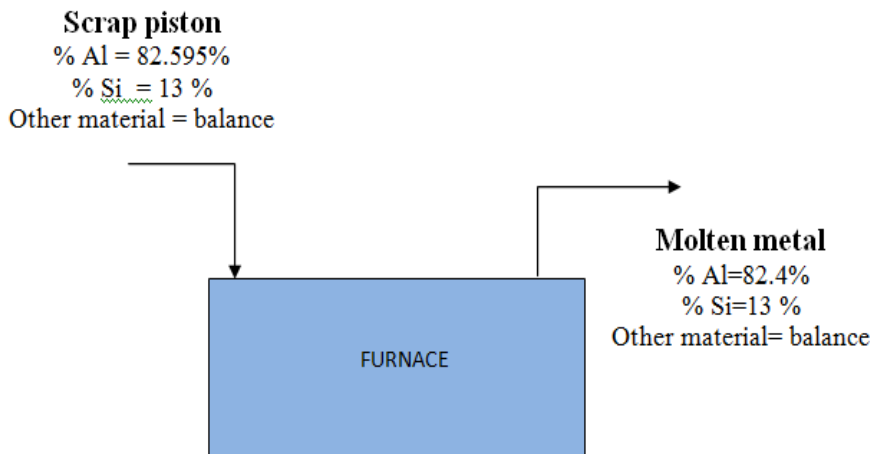
4. Air

Air digunakan sebagai media pendingin dalam proses grinding.

3.4 Prosedur Percobaan

Sebelum melakukan eksperimen, preparasi sampel dilakukan dengan cara menghitung massa tiap-tiap bahan lebur untuk mendapatkan komposisi hasil coran yang diinginkan. Perhitungan massa bahan lebur pada penelitian kali ini menggunakan prinsip *material balance*. Perhitungan material balance menggunakan persamaan 3.1

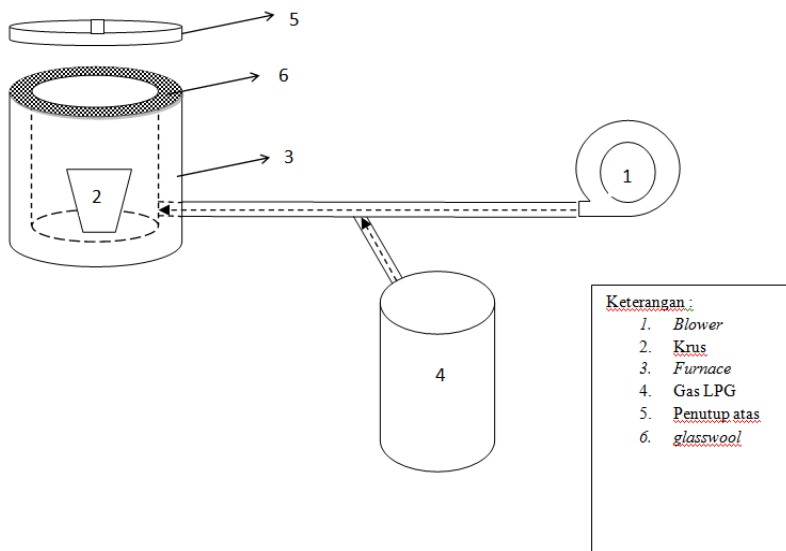
$$\text{Material balance} = \frac{\% \text{Target Unsur}}{\% \text{Rasio kadar unsur pada bahan}} \times \text{Massa total} \dots\dots (3.1)$$



Gambar 3.6 Material balance proses pengecoran piston



Setelah proses penghitungan jumlah bahan lebur, Kemudian diletakkan pada krusibel. Langkah selanjutnya yaitu melakukan peleburan bahan lebur yang telah diletakkan dalam krusibel menggunakan krusibel Furnace alumina, logam paduan yang telah selesai dilebur lalu dituangkan kedalam cetakan permanen yang telah didisiapkan dan tunggu hingga material yang berada didalam cetakan membeku dan berikutnya dikeluarkan dari cetakan permanen.



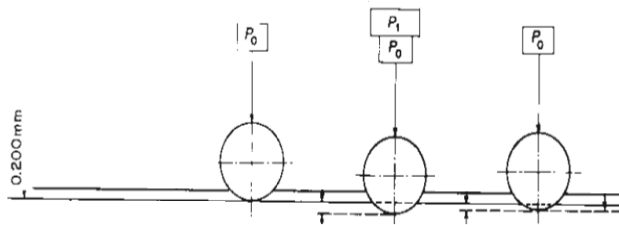
Gambar 3.7 Skema peleburan dengan *crucible furnace*



3.5 Pengujian

3.5.1 Pengujian Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan sebuah material terhadap indentasi dan goresan. Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan ASTM E10 dengan menggunakan metode Brinell. Alat yang digunakan adalah *Universal Hardness Tester* HBRV-187.5A (lihat gambar 3.7) di Laboratorium Metalurgi Teknik Material dan Metalurgi ITS. Beban yang diberikan sebesar 100kgf dan waktu pembebanan selama 20 s. Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 3 kali indentasi. Gambar



Gambar 3.8 Pengujian kekerasan Brinell

3.5.2 Perhitungan Volume Piston

Pengujian ini dilakukan dengan cara mencelupkan ke dalam gelas baker lalu melihat perubahan volume yang terjadi.

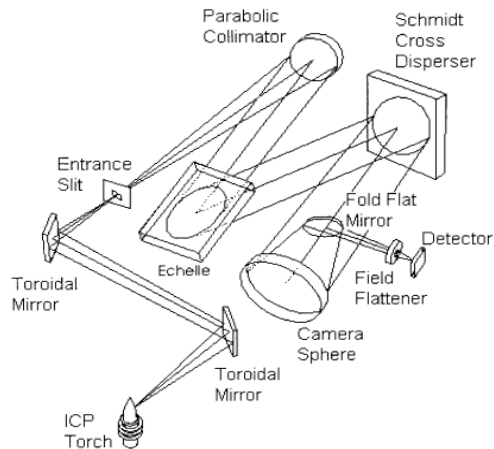
3.5.3 Observasi Visual

Pengujian ini dilakukan dengan mengamati secara detail tampilan permukaan dari benda yang akan diuji.



3.5.4 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia menggunakan *Optical Emission Spectroscopy (OES)*, adalah pengujian dengan menembakkan electron pada bidang datar spesimen sehingga memantulkan gelombang cahaya yang unik yang dapat ditangkap oleh *receiver* dan sensor yang kemudian dicocokkan dengan database yang ada. Mekanisme OES seperti pada Gambar 3.8 OES dapat mengetahui berbagai unsure tergantung dari database yang tersedia. Pengujian OES pada penelitian ini dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Dimensi spesimen yang dibutuhkan untuk proses pengujian menggunakan OES yaitu lebar, panjang, dan ketebalan berturut-turut 1.5 cm, 1.5 cm, dan 0.5 cm.



Gambar 3.9 Prinsip pengujian OES (Boss, 2004)

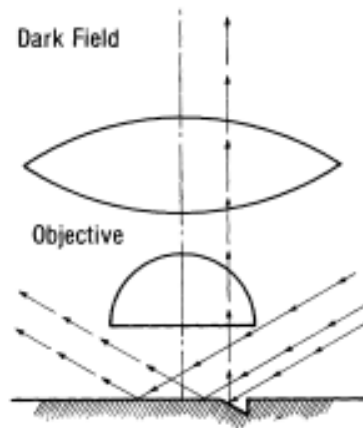
3.5.5 Pengujian Struktur Mikro

Metalografi adalah suatu metode pengujian untuk melihat struktur logam pada skala mikro. Struktur atau gambar logam yang terlihat melalui pengamatan dengan mikroskop disebut



mikrostruktur. Pada gambar ini terlihat daerah lingkup ukuran mikro struktur logam yang umumnya diamati dengan mikroskop. Gambar 3.9. menunjukkan alur sinar datang pada pemngamatan Metalografi.

Tujuan dilakukannya pengujian metalografi pada penelitian ini adalah melihat struktur yang terbentuk pada spesimen hasil pemaduan. Struktur mikro yang terlihat akan dibandingkan dengan diagram fasa paduan. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat pengaruh unsur paduan terhadap diagram fasa dan strukturmikro. Pengujian menggunakan Metallurgical Microscope OLYMPUS BX51M-RF larutan etsa yang digunakan sesuai dengan ASM Metal Handbook Vol 9 untuk *copper* dan *copper alloys*.

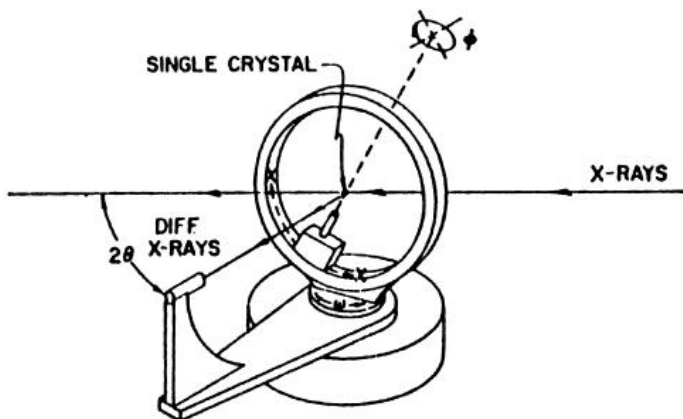


Gambar 3.10 Alur sinar pada pengamatan metalografi
(Kaufmann, 2003)



3.5.6 Pengujian Fasa

Pengujian fasa dilakukan dengan menggunakan XRD. Analisa difraksi sinar X dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Al-Si yang sudah terbentuk selama proses melting. Karakterisasi difraksi Sinar-X (XRD). Prinsip kerja pada pengujian XRD adalah ketika suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Gambar 3.10 menunjukkan prinsip kerja pengujian XRD. Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pengujian dilakukan dengan mesin PAN Analytical XRD. Sampel yang digunakan untuk pengujian XRD ini harus memiliki ketinggian tidak lebih dari 4 mm.



Gambar 3.11 Prinsip kerja XRD (Kaufmann, 2003)



3.6 Rancangan Penelitian

Untuk memperoleh data yang sistematis, maka dari penelitian ini akan dibuat rancangan seperti pada Tabel 3.1

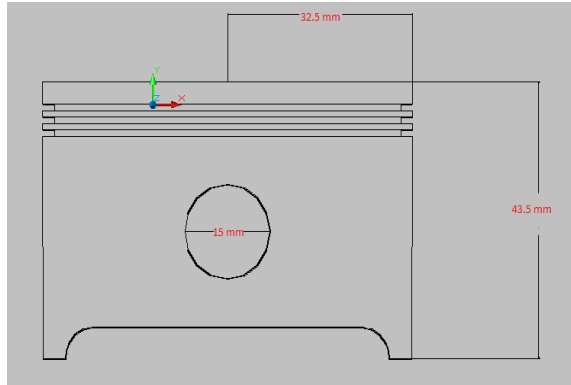
Tabel 3.1 Tabel rancangan percobaan

Temperatur tuang	Uji kekerasan	Perhitungan volume	Uji observasi visual	Metalografi	Uji komposisi	Uji Fasa(XRD)
PT700	✓	✓	✓	-	✓	✓
PT800				-	-	
PT900				-	-	
PT1000				-	-	
PT700PHM				✓	-	
PT800PHM				-	-	
PT900PHM				-	-	
PT1000PHM				-	-	

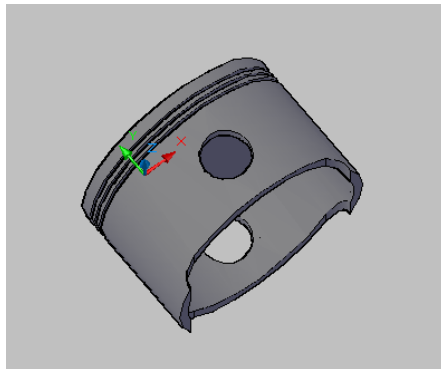


3.7 Desain Benda Cor

Berikut adalah gambar desain yang akan dicor



Gambar 3.12 Desain piston



Gambar 3.13 Desain 3D Benda Cor

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengecoran Piston Al-Si

Proses pengecoran piston menggunakan metode *gravity permanent mold casting*. Proses ini diawali dengan perakitan cetakan yang terdiri dari beberapa bagian seperti *core*, *base* dan *pin*. Material cetakan permanen yang digunakan adalah *alloy tool steel* SKD11, seri ini digunakan karena memiliki temperatur leleh yang tinggi, ketahanan korosi yang baik, serta tidak lekat dengan logam *raw material* yang digunakan. Proses berikutnya adalah menghitung dan menimbang kebutuhan *raw material* yang digunakan pada pembuatan piston. *Raw material* yang digunakan adalah *scrap* piston bekas paduan Al-13%Si yang telah dibersihkan terlebih dahulu. *Raw material* yang telah dipersiapkan dimasukkan ke dalam *crucible* dilanjutkan dengan pemanasan dalam *furnace*. Sistem pemanasan dalam *furnace* menggunakan sistem *burner* yang terdiri dari *blower* sebagai sumber oksigen dan gas LPG yang berisikan gas propana. Temperatur pemanasan *raw material* disesuaikan dengan variabel temperatur tuang yang dirancang yaitu 700°C, 800°C, 900°C, 1000 °C. Setelah mencapai temperatur yang diinginkan berikutnya *crucible* diaduk agar *raw material* tercampur secara merata. Selanjutnya setelah proses pengadukan selesai, *raw material* yang berada pada *crucible* dituang ke cetakan permanen yang telah disiapkan diawal proses. Berikutnya, setelah proses penuangan selesai, tunggu beberapa saat hingga temperatur turun. Setelah temperatur cetakan mencapai temperatur ruang bongkar cetakan dan pisahkan benda cor dengan cetakan. Setelah benda cor sudah dipisah dari cetakan berikutnya amati letak cacat yang terjadi pada piston hasil cor.



Cacat
tampak
depan



Cacat
tampak
samping



Cacat
tampak
depan



Cacat
tampak
samping



Cacat
tampak
depan



Cacat
tampak
depan



Gambar 4.1 foto makro piston hasil coran (a) piston PT700 (b) piston PT800 (c) piston PT900 (d) piston PT1000



Gambar 4.1 menunjukkan piston yang dibuat dengan metode *gravity permanent mold casting* dengan variasi temperatur tuang. Gambar 4.1(a) piston PT700 adalah piston yang dibuat dengan menuangkan logam cair saat temperatur logam cair 700°C. Tampak depan terlihat cacat retakan dan salah alir. Tampak samping terdapat cacat salah alir. Jenis cacat tersebut disebabkan oleh desain coran terlalu tipis, temperatur penuangan terlalu rendah, dan laju penuangan terlalu lambat. Tabel 4.1 menunjukkan cacat yang terjadi adalah 50,545%. Gambar 4.1(b) piston PT800 adalah piston yang dibuat dengan menuangkan logam cair saat temperatur logam cair 800°C. Tampak depan terlihat cacat penyusutan rongga. Tampak samping terlihat cacat salah alir. Cacat penyusutan rongga terjadi karena kurangnya cadangan logam cair yang tersedia dan cacat salah alir terjadi karena coran terlalu tipis, temperatur penuangan terlalu rendah, dan laju penuangan terlalu lambat. Dari tabel 4.1 dapat dilihat persentase cacat yang terjadi sebesar 42.936%. Gambar 4.1(c) piston PT900 adalah piston yang dibuat dengan menuangkan logam cair saat temperatur logam cair 900°C. Tampak depan terlihat cacat penyusutan rongga dan *coldshut*. Tampak samping tidak terdapat cacat. Cacat penyusutan rongga dikarenakan kurangnya cadangan logam cair dan cacat *coldshut* terjadi karena temperatur *pre-heat* yang rendah, tidak tepatnya dalam pemilihan jenis logam yang digunakan sebagai cetakan, temperatur tuang yang terlalu rendah. Tabel 4.1 dapat dilihat persentase cacat yang terjadi sebesar 36.596%. 4.1(d) piston PT1000 adalah piston yang dibuat dengan menuangkan logam cair saat temperatur logam cair 1000°C. Tampak depan terlihat cacat retakan. Tampak samping tidak terjadi adanya cacat. Cacat retakan terjadi karena Pemuaian cetakan, inti, dan benda coran tidak proporsional sehingga menyebabkan tegangan. Dari tabel 4.1 dapat dilihat persentase cacat yang terjadi sebesar 26.451%.



Gambar 4.2 foto makro piston hasil coran (a) piston PT700 PHM (b) piston PT800PHM (c) piston PT900PHM (d) piston PT1000PHM.



Gambar 4.2 menunjukkan piston yang dibuat dengan metode *gravity permanent mold casting* dengan variasi temperatur tuang dan *pre-heat* pada *mold*. Gambar 4.2(a) piston PT700PHM adalah piston yang dibuat dengan menuangkan logam cair saat temperatur logam cair 700°C dan pemanasan awal *mold* 450°C. Tampak depan terlihat cacat retakan dan *coldshut*. Tampak samping terdapat cacat *coldshut*. Cacat jenis retakan terjadi karena Pemuaiian cetakan, inti, dan benda coran tidak proporsional sehingga menyebabkan tegangan, cacat *coldshut* terjadi karena temperatur *pre-heat* yang rendah, tidak tepatnya dalam pemilihan jenis logam yang digunakan sebagai cetakan, temperatur tuang yang terlalu rendah. Tabel 4.1 menunjukkan persentase cacat yang terjadi sebesar 21.379%. Gambar 4.2(b) PT800PHM adalah piston yang dibuat dengan menuangkan logam cair saat temperatur logam cair 800°C dan pemanasan awal *mold* 450°C. Tampak depan terlihat cacat retakan. Tampak samping terlihat adanya cacat salah alir. Cacat jenis retakan terjadi karena Pemuaiian cetakan, inti dan benda coran tidak proporsional sehingga menyebabkan tegangan. Cacat salah alir disebabkan karena coran terlalu tipis, temperatur penuangan terlalu rendah, dan laju penuangan terlalu lambat. Tabel 4.1 menunjukkan persentase cacat yang terjadi sebesar 20.111%. Gambar 4.2(c) PT900PHM adalah piston yang dibuat dengan menuangkan logam cair saat temperatur logam cair 900°C dan pemanasan awal *mold* 450°C. Tampak depan terlihat penyusutan rongga dan *coldshut*. Tampak samping tidak terdapat cacat. Cacat penyusutan rongga terjadi karena kurangnya cadangan logam cair. Tabel 4.1 menunjukkan persentase cacat yang terjadi sebesar 6.162%. Gambar 4.2(d) PT1000PHM adalah piston yang dibuat dengan menuangkan logam cair saat temperatur logam cair 1000°C dan pemanasan awal *mold* 450°C. Tampak depan terlihat penyusutan rongga dan *coldshut*. Tampak samping tidak terdapat cacat. Cacat penyusutan rongga terjadi karena kurangnya cadangan logam cair. Tabel 4.2



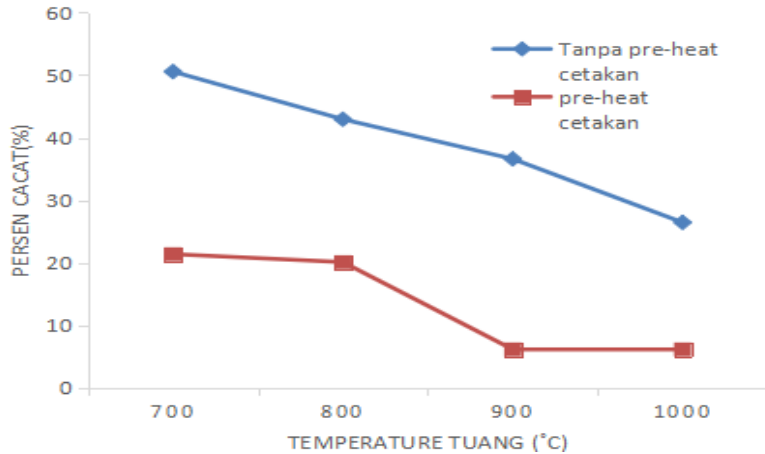
menunjukkan persentase cacat yang terjadi sebesar 6.162%. Untuk sistem penamaan piston cor dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kode Penamaan Piston

Material	Temperatur tuang (°C)	<i>Pre –heat</i> cetakan (°C)	Kode
Aluminum alloy	700	-	PT700
Aluminum alloy	800	-	PT800
Aluminum alloy	900	-	PT900
Aluminum alloy	1000	-	PT1000
Aluminum alloy	700	450	PT700PHM
Aluminum alloy	800	450	PT800PHM
Aluminum alloy	900	450	PT900PHM
Aluminum alloy	1000	450	PT1000PHM

Tabel 4.2 Hasil Pengecoran Piston

Kode	Volume desain (ml)	Volume Cor (ml)	Selisih Volume (ml)	Cacat (%)
PT700	78.86	39	39.86	50.545
PT800	78.86	45	33.86	42.936
PT900	78.86	50	28.86	36.596
PT1000	78.86	58	20.86	26.451
PT700PHM	78.86	62	16.86	21.379
PT800PHM	78.86	63	15.86	20.111
PT900PHM	78.86	74	4.86	6.162
PT1000PHM	78.86	74	4.86	6.162



Gambar 4.3 Pengaruh temperatur *pre-heat* pada *mold* dan temperatur tuang logam cair terhadap persentase cacat.

Grafik 4.3 menunjukkan pengaruh temperatur tuang dan *pre-heat* cetakan terhadap persentase cacat. Pada variasi temperatur tuang 700°C persentase cacat sebesar 50,545%. Pada variasi 800°C persentase cacat sebesar 42.936%. Pada variasi 900°C persentase cacat sebesar 36.596%. Pada variasi 1000°C persentase cacat sebesar 26.451%. Selain temperatur tuang *pre-heat* cetakan juga berpengaruh terhadap persentase cacat. Pada *pre-heat* cetakan 450°C dan temperatur tuang 700°C persentase cacat sebesar 21.379%. Pada *pre-heat* cetakan 450°C dan temperatur tuang 800°C persentase cacat sebesar 20.111%. Pada *pre-heat* cetakan 450°C dan temperatur tuang 900°C persentase cacat sebesar 6.162%. Pada *pre-heat* cetakan 450°C dan temperatur tuang 1000°C persentase cacat sebesar 6.162%. pada



Gambar 4.3 terlihat semakin tinggi temperatur tuang, nilai persentase cacat cenderung menurun. Sedangkan untuk perlakuan *pre-heat* cetakan terlihat memiliki dampak yang signifikan terhadap nilai cacat sampai temperatur tuang 900°C. Hasil Piston PT1000PHM cenderung sama dengan hasil Piston PT900PHM.

4.2 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Uji Komposisi kimia menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*) pada komponen piston yang dibuat dengan proses *gravity permanent mold casting*. Pengujian dilakukan untuk mengamati komposisi pada spesimen piston hasil dari *gravity permanent mold casting*. Hasil pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut

Tabel 4.3 Perbandingan Komposisi Kimia antara Piston M124 dan Piston Hasil Coran

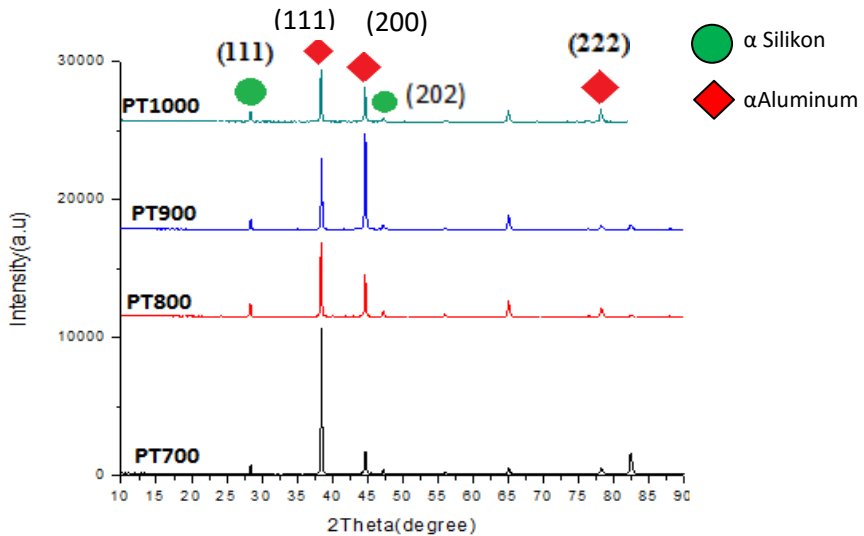
Unsur	Piston M124 (%Wt)	Piston cor (%Wt)	Selisih (%Wt)
Al	82.595	82.4	-0.195
Si	13	13	0
Cu	0.8	1.2	+0.4
Mg	1.3	0.776	-0.524
Ni	0.8	0.419	-0.381
Fe	0.7	0.419	-0.281
Mn	0.3	0.318	+0.018
Ti	0.2	0.046	-0.154
Zn	0.3	1.21	+0.91
Cr	0.005	0.0192	+0.0142
Other	0	0.192	+0.192



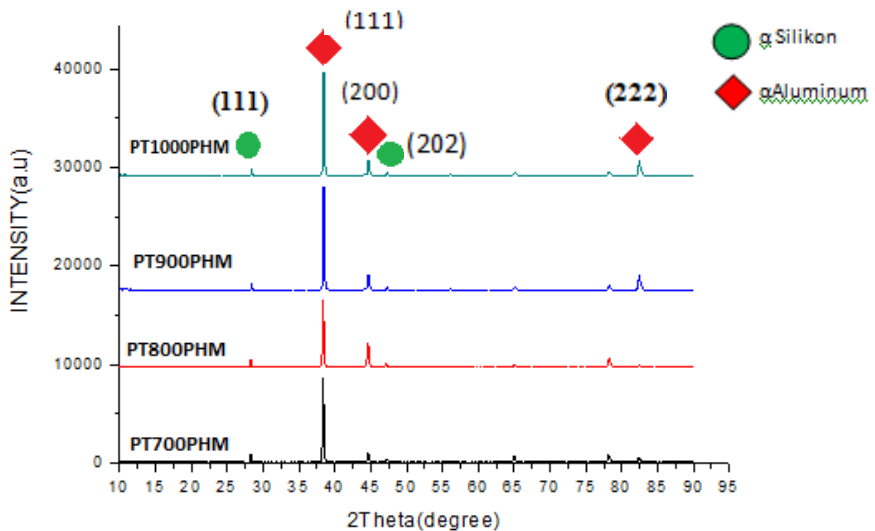
Tabel 4.3 menunjukkan bahwa terdapat beberapa perbedaan hasil pengujian komposisi antara piston hasil pengecoran dengan standar piston M124. Unsur yang mengalami perbedaan jumlah adalah aluminium sebesar 0.195% lebih sedikit dibandingkan dengan standar piston M124. Unsur Cu mengalami perbedaan sebesar 0.4% lebih banyak dibandingkan dengan standar M124. Unsur Mg mengalami perbedaan sebesar 0.524% lebih sedikit dibandingkan dengan standar M124. Unsur Ni mengalami perbedaan sebesar 0.381% lebih sedikit dibandingkan dengan standar. Unsur Fe mengalami perbedaan sebesar 0.281% lebih sedikit dibandingkan dengan standar M124. Unsur Mn mengalami perbedaan sebesar 0.018% lebih banyak dibandingkan standar M124. Unsur Ti mengalami perbedaan sebesar 0.154% lebih sedikit dibandingkan standar M124. Unsur Zn mengalami perbedaan sebesar 0.91% lebih banyak dibandingkan dengan standar M124. Unsur Cr mengalami perbedaan sebesar 0.0142% lebih banyak dibandingkan dengan standar M124. Unsur lainnya bertambah sekitar 0.192%. Pengurangan persentase unsur terjadi akibat reaksi Al, Mg, Ni, Fe, dan Ti mengalami oksidasi selama peleburan. Penambahan unsur Al, Mg, Ni, Fe, dan Ti terjadi akibat adanya pengurangan dari unsur lain sehingga agar setimbang unsur yang tidak teroksidasi akan bertambah. Diagram elingham menyatakan unsur Al, Mg, Ni, Fe, dan Ti lebih mudah teroksidasi jika dibandingkan dengan unsur Cu, Mn, Zn dan Cr.

4.3 Hasil Pengujian XRD

Pengujian *X-Ray Diffraction* dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material, Departemen Teknik Material FTI-ITS. Bertujuan untuk mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada piston hasil cor. Pola XRD hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Pola XRD dari piston hasil cor tanpa *pre-heat*.



Gambar 4.5 Pola XRD dari piston hasil cor dengan *pre-heat*.

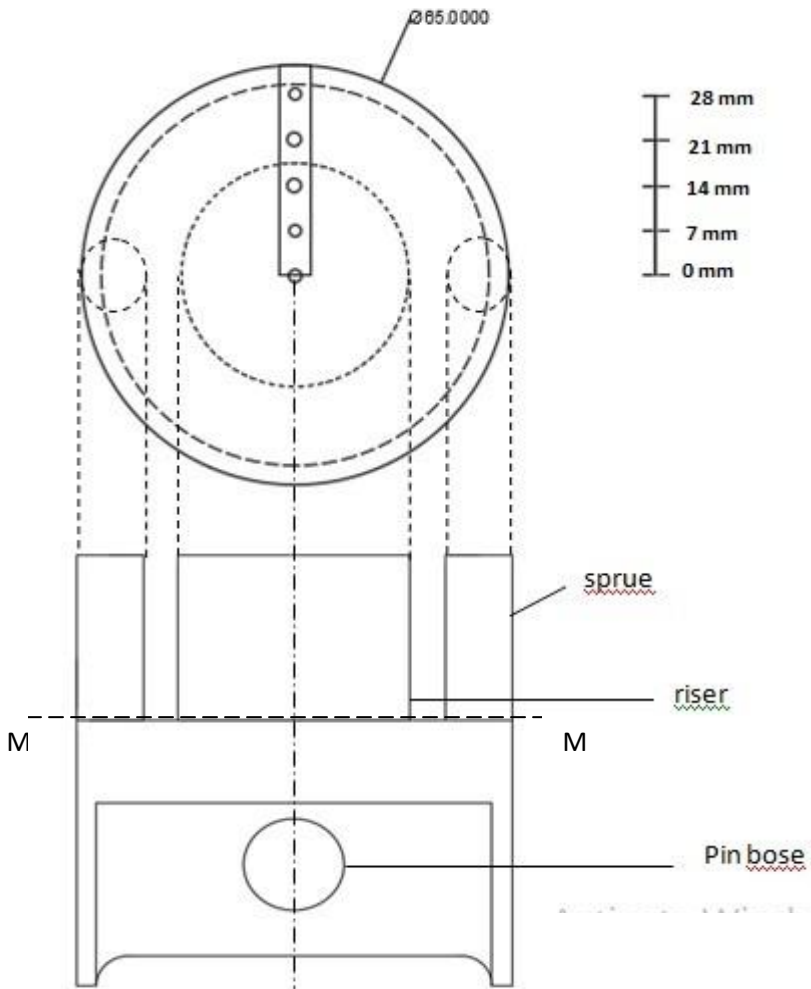


Analisa pola pengujian XRD dilakukan dengan menggunakan software Match3!. Untuk hasil pengujian XRD pada spesimen banyak ditemukan peak aluminum dan silikon. Pada PT700 peak dengan intensitas tertinggi ada pada 2θ 38.4448 dengan bidang (111) yang mererensentasikan α aluminum. Refrensi unsur silikon bisa dilihat pada peak 28.4068 dengan bidang (1 1 1). Pada PT800 peak dengan intensitas tertinggi ada pada 2θ 38.4437 dengan bidang (111) yang mererensentasikan α aluminum. Refrensi unsur silikon bisa dilihat pada peak 28.3864 dengan bidang (1 1 1). Pada PT900 peak dengan intensitas tertinggi ada pada 2θ 44.4401 dengan bidang (200) yang mererensentasikan α aluminum. Refrensi unsur silikon bisa dilihat pada peak 28.4061 dengan bidang (1 1 1). Pada PT1000 peak dengan intensitas tertinggi ada pada 2θ 38.4494 dengan bidang (111) yang mererensentasikan α aluminum. Refrensi unsur silikon bisa dilihat pada peak 28.3957 dengan bidang (1 1 1). Pada PT700PHM peak dengan intensitas tertinggi ada pada 2θ 38.4468 dengan bidang (111) yang mererensentasikan α aluminum. Refrensi unsur silikon bisa dilihat pada peak 28.4022 dengan bidang (1 1 1). Pada PT800PHM peak dengan intensitas tertinggi ada pada 2θ 38.4401 dengan bidang (111) yang mererensentasikan α aluminum. Refrensi unsur silikon bisa dilihat pada peak 28.4021 dengan bidang (1 1 1). Pada PT900PHM peak dengan intensitas tertinggi ada pada 2θ 38.4468 dengan bidang (111) yang mererensentasikan α aluminum. Refrensi unsur silikon bisa dilihat pada peak 28.4022 dengan bidang (1 1 1). Pada PT1000PHM peak dengan intensitas tertinggi ada pada 2θ 38.4468 dengan bidang (111) yang mererensentasikan α aluminum. Refrensi unsur silikon bisa dilihat pada peak 28.4022 dengan bidang (1 1 1).



4.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian metalografi bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang terdapat pada specimen. Pengujian metalografi dilakukan dengan menggosok specimen dengan tingkat kekasaran 80, 120, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000 menggunakan kertas amplas lalu setelah proses penghalusan atau *grinding* selesai berikutnya dilakukan *polishing*. Setelah *polishing* dilakukan, maka berikutnya dilakukan proses *etching* untuk mengkorosikan batas butir yang ada di permukaan specimen, larutan etsa yang digunakan adalah larutan keller. Setelah proses *etching* selesai berikutnya dilakukan pengambilan gambar menggunakan mikroskop optik. Pengambilan gambar Metalografi dilakukan di lima daerah dengan masing–masing daerah diambil tiga titik sebagai referensi, titik pengambilan terletak sepanjang penampang dengan jarak antar daerah pengambilan gambar sejauh 7 mm. Titik awal terletak dipusat lingkaran atau 0 mm dari pusat dan paling jauh berjarak 28 mm dari pusat penampang lingkaran piston. titik pengambilan gambar bisa dilihat pada Gambar 4.6.

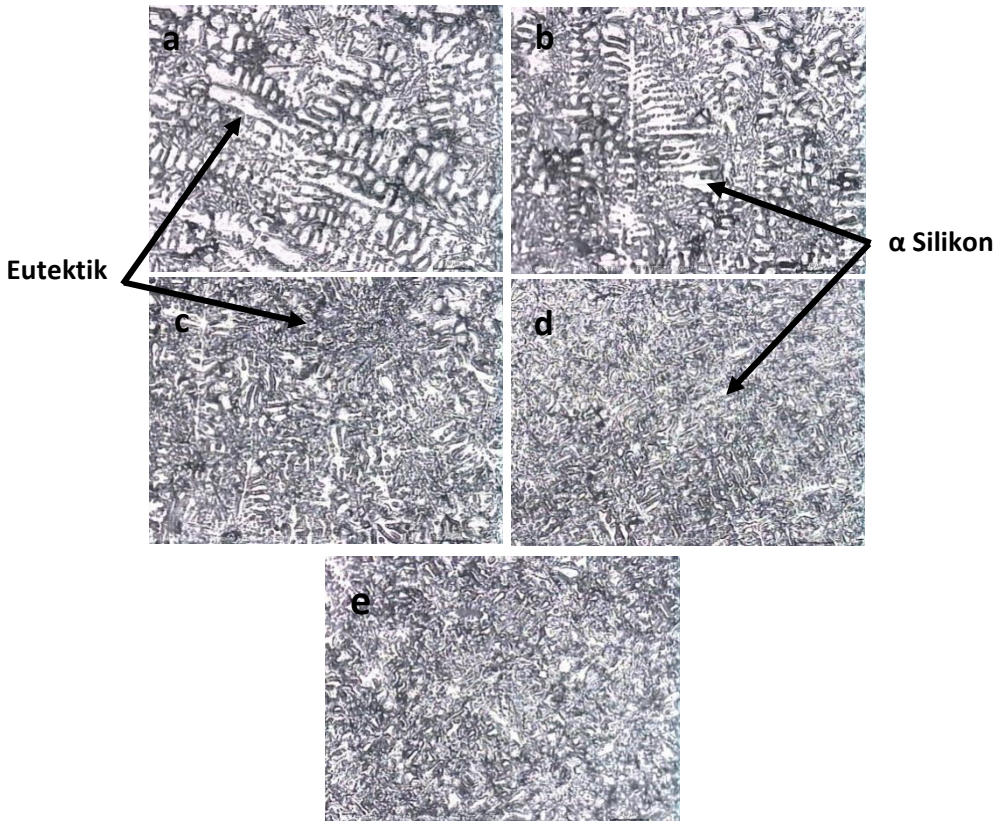


Gambar 4.6 Posisi Pengambilan Gambar Struktur Mikro

Untuk posisi pengambilan gambar struktur mikro bisa dilihat pada Gambar 4.5 berikut. Terlihat setiap titik pengambilan



gambar berjarak 7mm antar titik, sepanjang penampang piston. Hasil pengambilan struktur mikro di setiap titik dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7 Gambar struktur mikro sepanjang penampang (a) 0 mm (b) 7 mm (c) 14 mm (d) 21 mm (e) 28 mm pada perbesaran 200 kali.

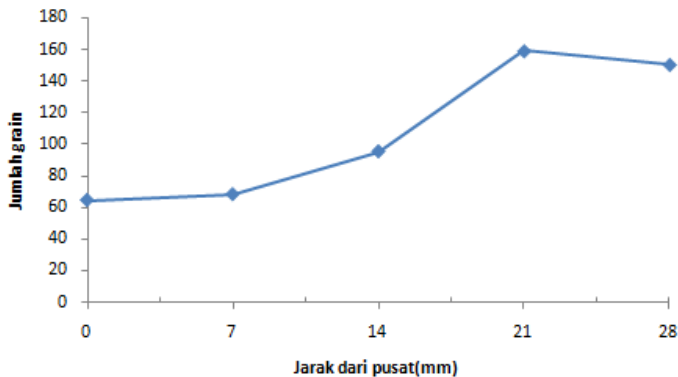
Gambar 4.7 menunjukkan berbagai struktur mikro dari berbagai jarak sepanjang penampang. Untuk melihat perbandingan ukuran grain dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.



Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Jumlah Grain pada piston
PT700PHM

Jarak dari pusat penampang atas piston (mm)	Jumlah grain			Rerata jumlah grain	Grain size number
	Titik 1	Titik 2	Titik 3		
0	62	60	71	64.33	7
7	72	67	65	68	7
14	89	100	97	95.333	7
21	156	154	167	159	8
28	159	143	149	150.33	8

Tabel 4.4 menunjukkan semakin jauh jarak dengan titik pusat, semakin banyak grain yang terbentuk. Untuk melihat kenaikan jumlah grain dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Jumlah grain pada setiap titik pengujian

Gambar 4.8 menunjukkan adanya kenaikan jumlah grain semakin jauh jarak dengan titik pusat penampang atas piston hasil cor. Hal ini dikarenakan pada sisi terluar atau terjauh dari



pusat penampang piston laju pendinginan yang terjadi sangat cepat, sehingga grain yang terbentuk kecil karena kurangnya waktu untuk memperluas daerahnya. Sedangkan untuk *grain* yang berada pada pusat penampang, *grain size* cenderung lebih besar. Hal ini dikarenakan untuk daerah pusat penampang terdapat riser yang mampu menjaga temperatur tetap tinggi dan memperlambat laju pendinginan, sehingga *grain* mampu memperluas daerahnya (ASTM standard E – 91.1955).

4.5 Hasil Pengujian Kekerasan

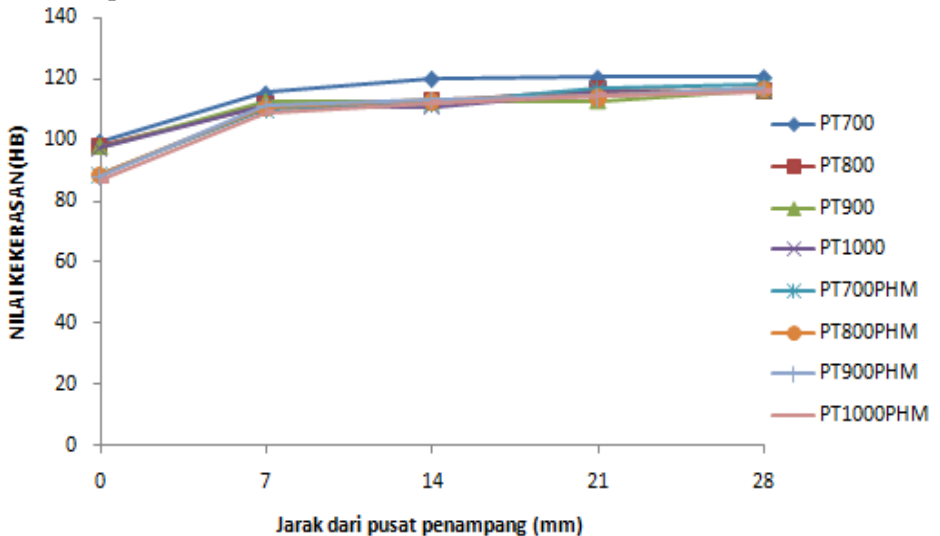
Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui seberapa kuat suatu material dapat menahan *scratch*. Pengujian ini dilakukan dengan mengindentasi material uji dengan menggunakan indentor brinell di beberapa titik. Untuk nilai kekerasan yang didapat, bisa dilihat di Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Nilai Kekerasan Berdasarkan Jarak dari Pusat Penampang pada setiap piston

Kode	Nilai kekerasan berdasarkan jarak dari pusat penampang					Rerata (HB)
	0 mm (HB)	7 mm (HB)	14 mm (HB)	21 mm (HB)	28 mm (HB)	
PT700	99.2	115.2	120.1	120.4	120.5	115.1
PT800	97.9	111.3	112.7	116.4	115.8	110.8
PT900	97.8	112.5	112.7	112.8	116.4	110.4
PT1000	97.3	111.4	111	116	116	110.3
PT700PHM	88.8	110	112	117	118	109.2
PT800PHM	88.8	110.8	112.9	114	116.8	108.7
PT900PHM	88.2	111	113.3	114.2	116.8	108.7
PT1000PHM	86.7	109	112	115	116	107.7

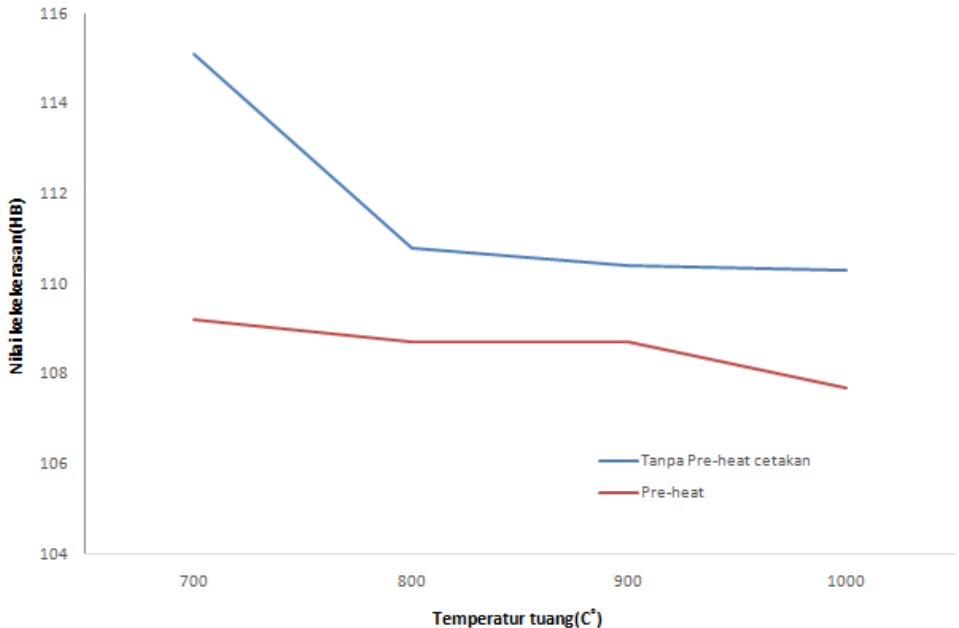


Tabel 4.5 menggambarkan nilai kekerasan berdasarkan jarak dari pusat. Semakin jauh dengan pusat, nilai kekerasan semakin meningkat. Untuk melihat kenaikan nilai kekerasan dapat dilihat di Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Nilai kekerasan sepanjang penampang dari setiap piston

Gambar 4.9 menunjukkan kenaikan nilai kekerasan sepanjang penampang. Pada Gambar 4.8 terlihat nilai kekerasan pada pusat cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai kekerasan pada daerah pinggir.. Grafik nilai rerata kekerasan piston dapat dilihat pada Gambar 4.10 .



Gambar 4.10 Grafik rerata nilai kekerasan piston hasil cor

Gambar 4.10 menunjukkan rerata nilai kekerasan hasil cor tanpa *pre-heat* cetakan dengan temperatur tuang 700 °C bernilai 115.1 HB, piston dengan temperatur tuang 800 °C bernilai 110.8 HB, piston dengan temperatur tuang 900°C bernilai 110.04, piston dengan temperatur tuang 1000°C bernilai 110.3 HB. Sedangkan untuk nilai kekerasan pada pengecoran piston dengan *pre-heat* cetakan pada temperatur 450°C pada tempertaure tuang 700°C bernilai 109.2 HB, pada temperatur tuang 800°C bernilai 108.7 HB, pada temperatur tuang 900°C bernilai 108.7 HB, pada temperatur tuang 1000°C bernilai 107.7 HB. Terlihat untuk kekerasan pada piston hasil cor tanpa *pre-heat* cetakan cenderung turun, sedangkan untuk nilai kekerasan pada pengecoran piston dengan *pre-heat*, nilai kekerasan cenderung



turun namun tidak curam. Hal ini dikarenakan laju pendinginan PT700 lebih cepat sehingga grain yang terbentuk halus dan berdampak pada kekerasan yang tinggi jika dibandingkan dengan hasil coran piston yang lain. Sedangkan untuk piston coran yang dibuat dengan *pre-heat* cetakan, grafiknya cenderung datar dikarenakan cetakan mampu menahan temperatur lebih lama sehingga penurunan kualitas grain tidak signifikan sehingga didapat hasil kekerasan yang berdekatan.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

hasil penelitian memiliki kesimpulan bahwa:

1. Temperatur tuang berpengaruh terhadap volume dan kekerasan coran piston. Semakin tinggi temperatur penuangan volume piston cor juga meningkat. Semakin tinggi temperature tuang ,kekerasan piston cor turun.
2. *Pre-heat* cetakan berpengaruh terhadap volume coran dan kekerasan piston. Volume piston hasil cor dengan *pre-heat* pada cetakan lebih tinggi jika dibandingkan dengan volume dari coran piston yang dibuat tanpa dilakukan *pre-heat*. Hasil kekerasan piston dengan *pre-heat* terlihat turun seiring peningkatan tempertatur tuang ,namun tidak terlalu signifikan.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan:

1. Menggunakan furnace dengan *thermocouple* sehingga dapat mengatur dan menjaga tempratur dengan baik.
2. Menggunakan furnace yang tertutup,sehingga tidak ada loss material den pengotor yang masuk.
3. Menyempurnakan desain piston agar piston hasil coran lebih baik.
4. Memperbaiki desain cetakan agar piston yang didapat lebih sempurna.



(Halaman sengaja dikosongkan)

iyDAFTAR PUSTAKA

- _____.1966. Basic Principle of Gating & risering. AFS Training & Research Institute.
- _____. 1992.ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. ASM International Handbook Committee.
- _____. 1992. ASM Handbook Volume 3: Alloy Phase Diagrams. ASM International Handbook Committee.
- _____. 1992. *ASM Handbook Volume 15: Casting*. USA: ASM International Handbook Committee
- _____.2001. Feeding & Risering Guidelines for Steel casting.USA.Steel Founder' Society of America
- Banga, T. 1981. *Foundry Engineering*. New Delhi: Khanna Publisher.
- Boss, C. B. 2004. Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy. Shelton: PerkinElmer
- Callister, D. William. 2010. *Materials Science and Engineering an Introduction*. New York: John Wiley & Sons, Inc
- Ebhota,Wiliam,dkk."**DESIGN FOR DOMESTICATION OF YAMAHA CY80 ENGINE PISTON MANUFACTURING TECHNOLOGY AND EVALUATION OF ALUMINUM ALLOY(4032-T6)FOR FUNCTIONALITY**".International Journal of advanced scientific and technical research
- Heinz,Junker.2012.Piston and engine testing.stuttgart.MAHLE Gmbh
- Kalpakistan, Serope dan Schmid, Steven R. 2009.*Manufacturing Engineering and Technology Sixth Edition in SI Units*. Singapura: Pearson
- Kaufmann, E.N. 2003. Characterization Of Materials: Volumes 1 and 2. Hoboken: John Wiley & Sons.

- Kim, Chung Whee. 2011. Modeling for casting and Solidification processing. michigan. ekk
- incSalah, ahmed. 2003. Casting & Welding engineering. Al-Fayyoun: fayoun university
- Sudjana, Hadi. 2008. Teknik pengecoran untuk SMK. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Surdia, Tata dan Chijjiwa, K. 2006. Teknik Pengecoran Logam. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Taufikurrahmandan Safei. 2005.
- Widyanto, Susilo adi. 2011. **“OPTIMASI DESAIN CETAKAN DIE CASTING UNTUK MENGHILANGKAN CACAT CORAN PADA KHASUS PENGECORAN PISTON ALUMINIUM”**. Rotasi jurnal teknik mesin undip

LAMPIRAN

Hasil uji oes

FMPRO 44P0070		Optik 44P0070					
Sample	:2(Aluminium Base) / M. FAJAR ISMAIL / ITS / LAB.UJI BAHAN / AGUS						
Alloy	: AL_000 Mode : PA 6/9/2017 9:24:27 AM						
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn
1	82.2	13.0	0.389	1.21	0.313	0.751	1.49
2	82.5	13.0	0.437	1.19	0.319	0.777	1.16
3	82.6	13.0	0.431	1.19	0.322	0.799	0.989
Average	82.4	13.0	0.419	1.20	0.318	0.776	1.21
	Cr	Ni	Ti	Be	Ca	Li	Pb
1	0.0202	0.421	0.0443	< 0.0001	0.0110	0.0001	0.0162
2	0.0197	0.416	0.0445	< 0.0001	0.0101	0.0001	0.0126
3	0.0177	0.419	0.0450	< 0.0001	0.0077	0.0001	0.0124
Average	0.0192	0.419	0.0446	< 0.0001	0.0096	0.0001	0.0137
	Sn	Sr	V	Na	Bi	Zr	B
1	< 0.0005	0.0001	0.0126	0.0077	< 0.0005	0.0038	< 0.0001
2	< 0.0005	0.0001	0.0133	0.0071	0.0019	0.0051	< 0.0001
3	< 0.0005	< 0.0001	0.0178	0.0062	< 0.0005	0.0019	< 0.0001
Average	< 0.0005	< 0.0001	0.0145	0.0070	0.0006	0.0036	< 0.0001
	Ga	Cd	Co	Ag	Hg	In	Sb
1	0.0134	0.0029	< 0.0010	< 0.0001	< 0.0005	0.0048	< 0.0050
2	0.0140	0.0024	< 0.0010	< 0.0001	< 0.0005	0.0066	< 0.0050
3	0.0139	0.0018	< 0.0010	< 0.0001	< 0.0005	0.0068	< 0.0050
Average	0.0138	0.0024	< 0.0010	< 0.0001	< 0.0005	0.0061	< 0.0050
	P	As	Ce	La			
1	< 0.0020	0.0114	0.0127	0.0058			
2	0.0029	0.0048	0.0117	0.0063			
3	0.0020	0.0075	0.0102	0.0055			
Average	< 0.0020	0.0079	0.0115	0.0059			

Hasil XRD

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (*Bookmark 1*)

Dataset Name	Spesimen PT 700
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2017\Mei\31 Mei 2017\Faizal\Spesimen Aluminium.rd
Comment	Configuration=Reflection-
Transmission Sp	Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	5/31/2017 2:00:00 PM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}2\text{Th.}$]	10.0084
End Position [$^{\circ}2\text{Th.}$]	89.9764

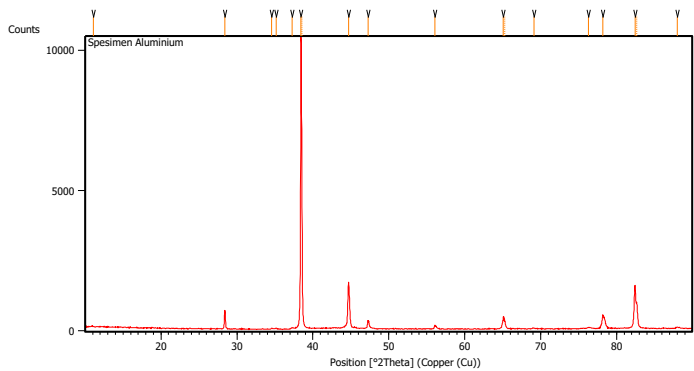
Step Size [$^{\circ}2\theta$.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [$^{\circ}2\theta$.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [$^{\circ}\text{C}$]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [\AA]	1.54060
K-Alpha2 [\AA]	1.54443
K-Beta [\AA]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractionmeter Type	XPert MPD
Diffractionmeter Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00

Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00

Incident Beam Monochromator No

Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (*Bookmark 2*)



Peak List: (*Bookmark 3*)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d- spacing [Å]	Rel. Int. [%]
-----------------	-----------------	----------------------	----------------------	------------------

11.0676	21.24	0.4684	7.99451	0.21
28.4068	665.66	0.1004	3.14201	6.45
34.5607	29.37	0.1673	2.59533	0.28
35.1404	35.61	0.2007	2.55384	0.35
37.2995	34.96	0.4015	2.41082	0.34
38.4448	10315. 91	0.1428	2.33966	100.00
38.5580	6096.7 7	0.0612	2.33885	59.10
44.7058	1600.2 2	0.2244	2.02545	15.51
47.2540	284.79	0.1428	1.92199	2.76
56.0748	125.83	0.2040	1.63877	1.22
65.0880	409.67	0.2040	1.43192	3.97
65.2826	272.57	0.1224	1.43167	2.64
69.1378	25.32	0.4896	1.35760	0.25
76.3118	46.29	0.2448	1.24684	0.45
78.1677	433.50	0.3264	1.22181	4.20
82.4443	1514.9 5	0.2040	1.16893	14.69

82.6684	913.00	0.1428	1.16922	8.85
87.9878	56.41	0.2040	1.10901	0.55

Pattern List: (*Bookmark 4*)

Document History: (*Bookmark 5*)

Insert Measurement:

- File name = Spesimen Aluminium.rd
- Modification time = "6/9/2017 10:09:43 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "6/9/2017 10:09:43 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "4/20/2017 1:40:06 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

More items... (Bookmark 6)

More items... (Bookmark 7)

More items... (Bookmark 8)

More items... (Bookmark 9)

More items... (Bookmark 10)

More items... (Bookmark 11)

More items... (Bookmark 12)

More items... (Bookmark 13)

More items... (Bookmark 14)

More items... (Bookmark 15)

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

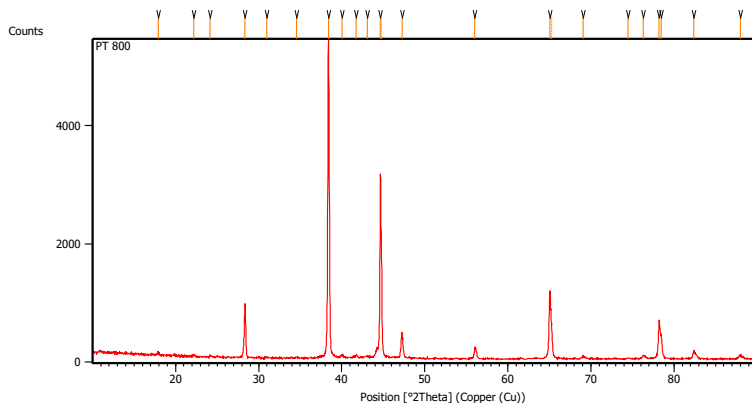
Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	PT 800
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2017\Juli\Faizal\PT 800\PT 800.rd
Comment	Configuration=Reflection- Transmission Sp
	Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	7/19/2017 8:47:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}$ 2Th.]	10.0084
End Position [$^{\circ}$ 2Th.]	89.9764
Step Size [$^{\circ}$ 2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [$^{\circ}$ 2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500

Measurement Temperature [°C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
17.9548	43.83	0.1338	4.94048	0.82
22.2041	27.06	0.2007	4.00368	0.51
24.1762	32.05	0.2007	3.68138	0.60
28.3864	914.06	0.1506	3.14744	17.11
30.9526	11.27	0.4015	2.88914	0.21
34.5670	9.32	0.8029	2.59487	0.17

38.4437	5342.64	0.1506	2.34459	100.00
40.0118	54.79	0.2007	2.25343	1.03
41.7638	53.12	0.1673	2.16286	0.99
43.0554	28.66	0.4015	2.10093	0.54
44.6664	3071.72	0.1224	2.02714	57.49
44.8072	1689.08	0.0816	2.02612	31.61
47.2560	433.29	0.1632	1.92192	8.11
56.0304	196.61	0.1020	1.63996	3.68
65.0680	1149.75	0.1836	1.43231	21.52
65.2434	618.55	0.1224	1.43244	11.58
69.0729	37.78	0.4080	1.35872	0.71
74.5047	12.36	0.4896	1.27253	0.23
76.3011	66.76	0.1224	1.24698	1.25
78.2209	647.24	0.1428	1.22111	12.11
78.4770	382.42	0.2040	1.21777	7.16
82.4004	129.61	0.2040	1.16944	2.43
87.9898	59.96	0.2448	1.10899	1.12

Pattern List: (Bookmark 4)

Document History: (Bookmark 5)

Insert Measurement:

- File name = PT 800.rd
- Modification time = "7/19/2017 11:01:42 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "7/19/2017 11:01:42 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"

- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "4/20/2017 1:40:06 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

More items... (Bookmark 6)

More items... (Bookmark 7)

More items... (Bookmark 8)

More items... (Bookmark 9)

More items... (Bookmark 10)

More items... (Bookmark 11)

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (*Bookmark 1*)

Dataset Name	PT900
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2017\Juli\Faizal\PT900\PT900.rd
Comment	Configuration=Reflection- Transmission Sp
	Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	7/19/2017 9:49:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	10.0084
End Position [°2Th.]	89.9764
Step Size [°2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500

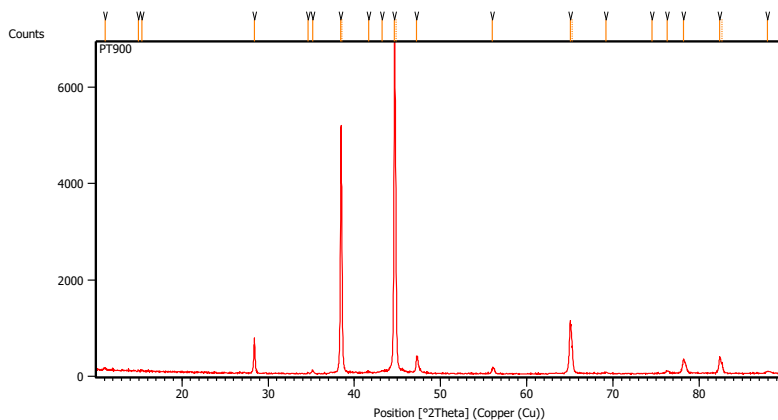
Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [°C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d- spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11.073 0	48.04	0.2007	7.99067	0.74
14.923 7	30.05	0.1004	5.93639	0.46
15.360 5	32.58	0.1673	5.76858	0.50
28.406 1	709.35	0.1338	3.14208	10.86
34.645 8	20.02	0.1338	2.58915	0.31
35.140 4	77.80	0.1338	2.55384	1.19
38.449 0	5067.3 0	0.1428	2.33941	77.59
38.559 0	3364.1 2	0.0612	2.33879	51.51
41.645 2	19.32	0.4896	2.16695	0.30
43.251 4	47.75	0.4896	2.09013	0.73
44.660	6530.8	0.2040	2.02742	100.00

1	1			
44.816	4051.7	0.0816	2.02572	62.04
7	7			
47.241	346.73	0.0816	1.92246	5.31
8				
56.018	106.25	0.3264	1.64028	1.63
7				
65.049	1077.6	0.2040	1.43269	16.50
1	6			
65.286	540.51	0.1224	1.43160	8.28
1				
69.214	27.11	0.3264	1.35629	0.42
3				
74.554	10.19	0.2448	1.27181	0.16
6				
76.290	45.62	0.4896	1.24713	0.70
3				
78.203	289.09	0.2448	1.22134	4.43
3				
82.385	319.93	0.1020	1.16961	4.90
4				
82.686	196.86	0.1224	1.16901	3.01

<hr/>				
	4			
87.935	38.99	0.4896	1.10954	0.60
2				
<hr/>				
Spinning	No			

Main Graphics, Analyze View: *(Bookmark 2)*



Peak List: *(Bookmark 3)*

Pattern List: *(Bookmark 4)*

Document History: (*Bookmark 5*)

Insert Measurement:

- File name = PT900.rd
- Modification time = "7/19/2017 11:01:05 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "7/19/2017 11:01:05 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"

- Modification time = "4/20/2017 1:40:06 PM"

- Modification editor = "Teknik Material"

More items... (Bookmark 6)

More items... (Bookmark 7)

More items... (Bookmark 8)

More items... (Bookmark 9)

More items... (Bookmark 10)

More items... (Bookmark 11)

More items... (Bookmark 12)

More items... (Bookmark 13)

More items... (Bookmark 14)

More items... (Bookmark 15)

More items... (Bookmark 12)

More items... (Bookmark 13)

More items... (Bookmark 14)

More items... (Bookmark 15)

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

Modify it according to your own needs and standards.

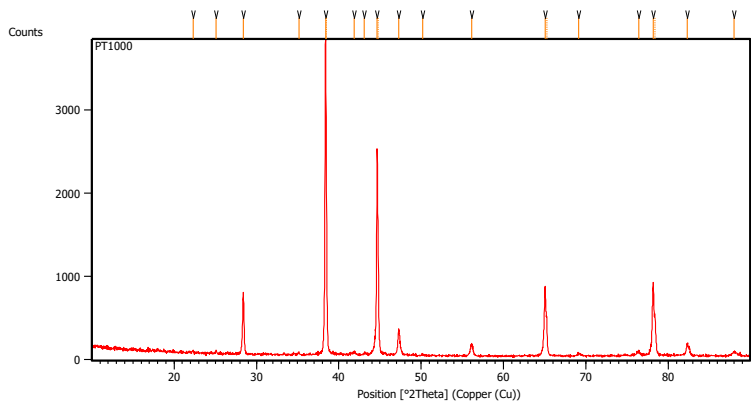
Measurement Conditions: (*Bookmark 1*)

Dataset Name	PT1000
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2017\Juli\Faizal\PT1000\PT1000.rd
Comment	Configuration=Reflection- Transmission Sp
	Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini

Measurement Date / Time	7/19/2017 9:37:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}$ 2Th.]	10.0084
End Position [$^{\circ}$ 2Th.]	89.9764
Step Size [$^{\circ}$ 2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [$^{\circ}$ 2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [$^{\circ}$ C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [\AA]	1.54060
K-Alpha2 [\AA]	1.54443
K-Beta [\AA]	1.39225

K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Main Graphics, Analyze View: (*Bookmark 2*)



Peak List: (*Bookmark 3*)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
22.2987	26.05	0.2007	3.98691	0.69
25.0855	20.13	0.2007	3.54995	0.53
28.3957	727.77	0.1171	3.14320	19.20
35.1454	36.69	0.1004	2.55348	0.97
38.4494	3790.18	0.1632	2.34291	100.00
38.5101	2132.58	0.0612	2.34164	56.27
41.8453	40.56	0.2448	2.15705	1.07
43.1158	24.54	0.3264	2.09639	0.65
44.6605	2469.45	0.1224	2.02740	65.15
44.7896	1409.35	0.0816	2.02688	37.18
47.2711	261.96	0.1632	1.92134	6.91
50.1744	13.46	0.3264	1.81676	0.36
56.1115	146.07	0.3264	1.63778	3.85
65.0374	833.36	0.1428	1.43292	21.99
65.2472	444.73	0.0816	1.43236	11.73

69.1377	29.63	0.5712	1.35760	0.78
76.4367	51.19	0.4080	1.24511	1.35
78.1757	871.52	0.2448	1.22171	22.99
78.3780	493.06	0.1632	1.22209	13.01
82.3118	146.82	0.1632	1.17047	3.87
87.9884	45.01	0.4080	1.10901	1.19

Pattern List: (*Bookmark 4*)

Document History: (*Bookmark 5*)

Insert Measurement:

- File name = PT1000.rd
- Modification time = "7/19/2017 11:01:25 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"

- Modification time = "7/19/2017 11:01:25 AM"

- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"

- Minimum tip width = "0.02"

- Maximum tip width = "1"

- Peak base width = "2"

- Method = "Minimum 2nd derivative"

- Modification time = "4/20/2017 1:40:06 PM"

- Modification editor = "Teknik Material"

More items... (Bookmark 6)

More items... (Bookmark 7)

More items... (Bookmark 8)

More items... (Bookmark 9)

More items... (Bookmark 10)

More items... (Bookmark 11)

More items... (Bookmark 12)

More items... (Bookmark 13)

More items... (Bookmark 14)

More items... (Bookmark 15)

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (*Bookmark 1*)

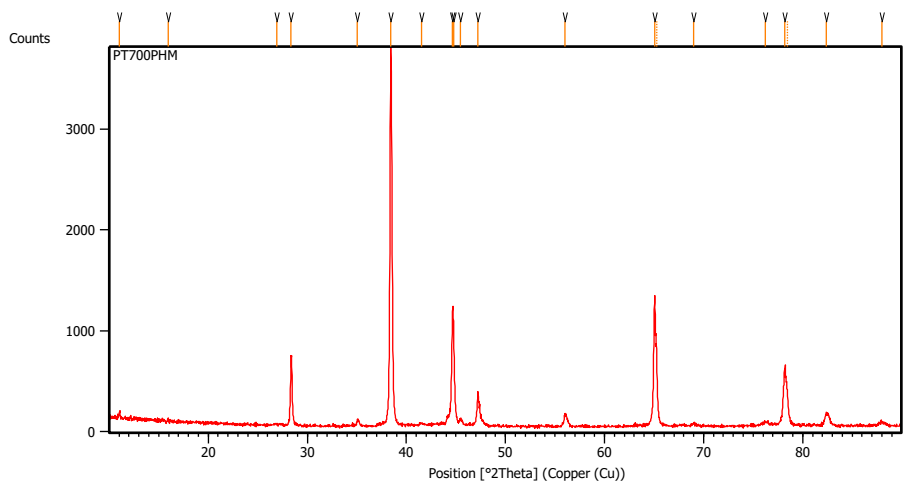
Dataset Name	PT700PHM
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2017\Juli\Faizal\PT700PHM\PT700PHM.rd
Comment	Configuration=Reflection- Transmission Sp
	Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	7/19/2017 9:58:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	10.0084
End Position [°2Th.]	89.9764
Step Size [°2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500

Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [°C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractionmeter Type	XPert MPD
Diffractionmeter Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No

Spinning

No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11.0528	71.89	0.1004	8.00523	1.99
15.9721	13.69	0.2007	5.54903	0.38
26.9100	13.91	0.8029	3.31327	0.39

28.3622	689.65	0.1673	3.14684	19.13
35.0672	67.46	0.2007	2.55900	1.87
38.4168	3605.91	0.1338	2.34324	100.00
41.5512	14.96	0.4015	2.17344	0.41
44.6596	1129.97	0.1020	2.02744	31.34
44.7655	989.71	0.0836	2.02456	27.45
45.4810	54.75	0.1673	1.99436	1.52
47.2296	312.19	0.0669	1.92452	8.66
55.9871	117.02	0.2342	1.64248	3.25
65.0546	1290.97	0.1836	1.43258	35.80
65.2526	731.79	0.1020	1.43226	20.29
69.0033	20.94	0.4080	1.35992	0.58
76.2293	34.92	0.6528	1.24798	0.97
78.1787	532.52	0.2856	1.22167	14.77
78.4325	353.75	0.1224	1.22137	9.81
82.3801	117.99	0.2040	1.16967	3.27
87.9929	42.36	0.4896	1.10896	1.17

Pattern List: (*Bookmark 4*)

Document History: (*Bookmark 5*)

Insert Measurement:

- File name = PT700PHM.rd
- Modification time = "7/19/2017 11:00:24 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "7/19/2017 11:00:24 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"

- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "4/20/2017 1:40:06 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

More items... (Bookmark 6)

More items... (Bookmark 7)

More items... (Bookmark 8)

More items... (Bookmark 9)

More items... (Bookmark 10)

More items... (Bookmark 11)

More items... (Bookmark 12)

More items... (Bookmark 13)

More items... (Bookmark 14)

More items... (Bookmark 15)

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

Modify it according to your own needs and standards.

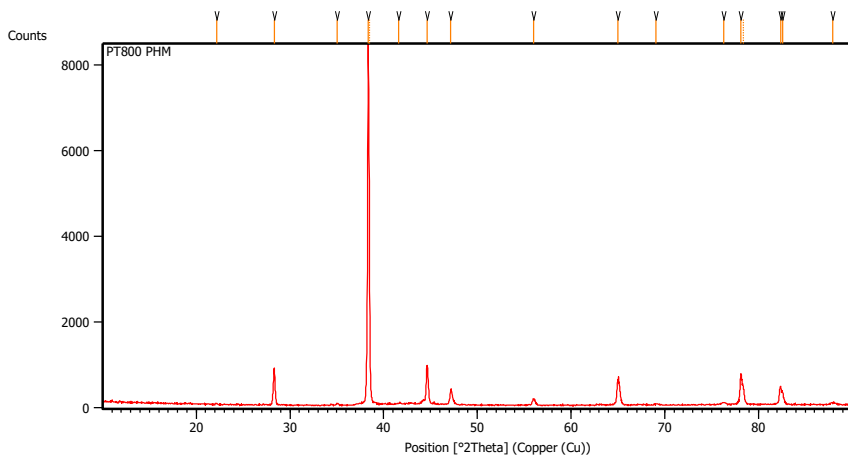
Measurement Conditions: (*Bookmark 1*)

Dataset Name	PT800 PHM
File name	E:\DATA
	PENGUJIAN\Pengujian 2017\Juli\Faizal\PT800 PHM\PT800
	PHM.rd

Comment	Configuration=Reflection-
Transmission Sp	
	Goniometer=PW3050/60
(Theta/Theta); Mini	
Measurement Date / Time	7/19/2017 9:26:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	10.0084
End Position [°2Th.]	89.9764
Step Size [°2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [°C]	-273.15
Anode Material	Cu

K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Main Graphics, Analyze View: (*Bookmark 2*)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
22.1760	18.46	0.2007	4.00870	0.22
28.3104	858.31	0.1171	3.15249	10.33
35.0576	44.26	0.2342	2.55968	0.53
38.3570	8305.38	0.1428	2.34481	100.00
38.4665	5208.43	0.0816	2.34420	62.71
41.5884	8.53	0.4896	2.16978	0.10
44.6172	866.06	0.2040	2.02927	10.43

47.1673	326.63	0.2856	1.92533	3.93
56.0329	145.57	0.3672	1.63989	1.75
64.9720	571.84	0.1224	1.43420	6.89
69.0639	21.86	0.4896	1.35887	0.26
76.2738	49.35	0.4896	1.24736	0.59
78.1552	704.45	0.1836	1.22198	8.48
78.3826	406.45	0.1224	1.22203	4.89
82.3695	438.90	0.1020	1.16980	5.28
82.5761	283.77	0.1632	1.16739	3.42
87.9526	42.73	0.6528	1.10936	0.51

Pattern List: (*Bookmark 4*)

Document History: (*Bookmark 5*)

Insert Measurement:

- File name = PT800 PHM.rd
- Modification time = "7/19/2017 11:00:44 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "7/19/2017 11:00:44 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "4/20/2017 1:40:06 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

More items... (Bookmark 6)

More items... (Bookmark 7)

More items... (Bookmark 8)

More items... (Bookmark 9)

More items... (Bookmark 10)

More items... (Bookmark 11)

More items... (Bookmark 12)

More items... (Bookmark 13)

More items... (Bookmark 14)

More items... (Bookmark 1)

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (*Bookmark 1*)

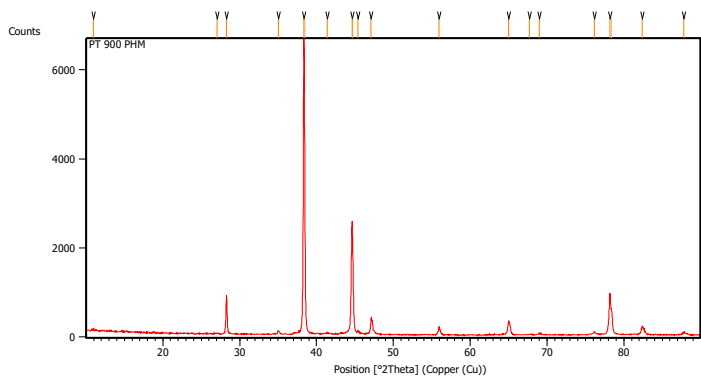
Dataset Name	PT 900 PHM
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2017\Juli\Faizal\PT 900 PHM\PT 900 PHM.rd
Comment	Configuration=Reflection-
Transmission Sp	
	Goniometer=PW3050/60
(Theta/Theta); Mini	
Measurement Date / Time	7/19/2017 9:07:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}$ 2Th.]	10.0084
End Position [$^{\circ}$ 2Th.]	89.9764
Step Size [$^{\circ}$ 2Th.]	0.0170

Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [°C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00

Incident Beam Monochromator No

Spinning No

Main Graphics, Analyze View: *(Bookmark 2)*



Peak List: *(Bookmark 3)*

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.9909	59.78	0.1004	8.05019	0.90
27.0678	15.64	0.4015	3.29431	0.24
28.4021	854.51	0.1673	3.15590	12.92

35.0196	73.36	0.2007	2.56237	1.11
38.4401	6612.23	0.1836	2.34463	100.00
38.4596	4404.83	0.0612	2.34460	66.62
41.3692	27.51	0.2040	2.18077	0.42
44.6298	2497.22	0.2040	2.02872	37.77
44.7257	1877.54	0.1224	2.02962	28.39
45.4106	66.24	0.1224	1.99564	1.00
47.0765	331.12	0.0816	1.92883	5.01
55.9539	188.04	0.0612	1.64202	2.84
65.0158	307.35	0.1020	1.43334	4.65
67.7125	11.81	0.6528	1.38267	0.18
68.9811	30.70	0.4080	1.36030	0.46
76.1894	60.60	0.2856	1.24853	0.92
78.2034	915.38	0.1428	1.22134	13.84
78.4079	554.40	0.1224	1.22170	8.38
82.4004	192.56	0.2448	1.16944	2.91
87.7683	47.34	0.7344	1.11122	0.72

Pattern List: (*Bookmark 4*)

Document History: (*Bookmark 5*)

Insert Measurement:

- File name = PT 900 PHM.rd
- Modification time = "7/19/2017 11:01:57 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "7/19/2017 11:01:57 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"

- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "4/20/2017 1:40:06 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

More items... (Bookmark 6)

More items... (Bookmark 7)

More items... (Bookmark 8)

More items... (Bookmark 9)

More items... (Bookmark 10)

More items... (Bookmark 11)

More items... (Bookmark 12)

More items... (Bookmark 13)

More items... (Bookmark 14)

More items... (Bookmark 15)

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (*Bookmark 1*)

Dataset Name	PT 1000PHM
--------------	------------

File name	E:\DATA
-----------	---------

PENGUJIAN\Pengujian 2017\Juli\Faizal\PT 1000PHM\PT 1000PHM.udf	
--	--

Comment Configuration=Reflection-
Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=1/15/2016
11:44:36 AM

Goniometer=PW3050/60
(Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step
size Omega:0.001

Measurement Date / Time 7/19/2017 8:27:00 AM

Raw Data Origin PHILIPS-ASCII (.UDF)

Scan Axis Gonio

Start Position [$^{\circ}$ 2Th.] 10.0084

End Position [$^{\circ}$ 2Th.] 89.9764

Step Size [$^{\circ}$ 2Th.] 0.0170

Scan Step Time [s] 10.1600

Scan Type Continuous

Offset [$^{\circ}$ 2Th.] 0.0000

Divergence Slit Type Fixed

Divergence Slit Size [$^{\circ}$] 1.0000

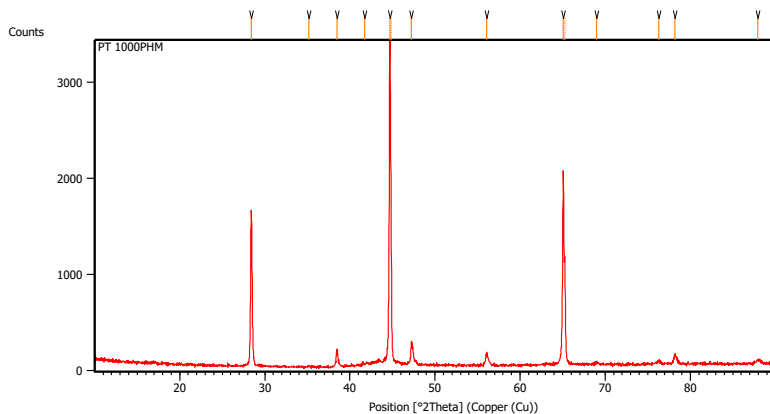
Specimen Length [mm] 10.00

Receiving Slit Size [mm] 0.1000

Measurement Temperature [$^{\circ}$ C] 25.00

Anode Material	Cu
K-Alpha1 [\AA]	1.54060
K-Alpha2 [\AA]	1.54443
K-Beta [\AA]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPERT
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Main Graphics, Analyze View: (*Bookmark 2*)



Peak List: (*Bookmark 3*)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d- spacing [Å]	Rel. Int. [%]
28.384 4	1489.5 6	0.1338	3.14443	43.99
35.174 6	13.52	0.4015	2.55143	0.40
38.457 7	144.38	0.2007	2.34084	4.26
41.765 3	18.84	0.6691	2.16279	0.56

44.700 8	3385.8 4	0.1632	2.02566	100.00
44.855 5	1593.9 8	0.0816	2.02405	47.08
47.242 1	241.20	0.0816	1.92245	7.12
56.070 8	128.65	0.2040	1.63888	3.80
65.069 7	2011.2 0	0.1632	1.43228	59.40
65.260 5	1052.5 8	0.1020	1.43211	31.09
68.985 7	17.06	0.4896	1.36022	0.50
76.274 8	32.56	0.4080	1.24735	0.96
78.200 9	102.10	0.2448	1.22137	3.02
87.943 5	33.68	0.5712	1.10946	0.99

Pattern List: (*Bookmark 4*)

Document History: (*Bookmark 5*)

Insert Measurement:

- File name = PT 1000PHM.udf
- Modification time = "7/19/2017 11:02:15 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "7/19/2017 11:02:15 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"

- Modification time = "4/20/2017 1:40:06 PM"

- Modification editor = "Teknik Material"

More items... (Bookmark 6)

More items... (Bookmark 7)

More items... (Bookmark 8)

More items... (Bookmark 9)

More items... (Bookmark 10)

More items... (Bookmark 11)

More items... (Bookmark 12)

More items... (Bookmark 13)

More items... (Bookmark 14)

More items... (Bookmark 15)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Faizal Nugraha Ramadhan . Sehari-hari penulis dipanggil Ijal. Dilahirkan dari keluarga sederhana oleh pasangan bernama Suroto dan Yuli Yudiyani Wahyuningsih pada tanggal 27 Februari 1995. Penulis menempuh pendidikan formal di SDIT PB SOEDIRMAN Jakarta timur (2001-2007), SMPN 49 Jakarta (2007-2010), SMAN 39 Jakarta (2010-2013) dan menjalani dunia perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS mulai 2013.

Di dunia kampus, penulis aktif sebagai Staff Departemen Dalam Negeri HMMT FTI-ITS. Selain aktif sebagai staff, penulis juga aktif di kegiatan kampus lainnya misalnya sebagai Panitia Silver Parade V, Panitia Pemilihan Rektor, maupun kegiatan yang lainnya. Di tahun ketiga, penulis menjabat sebagai Wakil 1 Kepala Departemen Dalam Negeri HMMT FTI-ITS. Di bidang akademik, penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Metalurgi untuk mata kuliah Teknologi Cor pada tahun 2016. Di tahun berikutnya, penulis mengerjakan tugas akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Temperatur Tuang dan Temperatur *Pre-heat* Cetakan pada Proses *Permanent Mold Casting* Terhadap Nilai Kekerasan dan Persentase Cacat Volume Coran Piston Berbasis Al-Si”

fanurama@gmail.com

082245873614

(halaman ini sengaja dikosongkan)